

**CEVİZ KABUKLARININ
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI
OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

ELİF ATABAY

Yüksek Lisans Tezi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Şubat-2001

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonunca desteklenmiştir.
Proje no: 0 00 202**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Elif Atabay'ın "Ceviz Kabuklarının Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi" başlıklı Kimya Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi, ~~02.03.2001~~..tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) :Prof. Dr. Ö. Mete KOÇKAR

Üye :Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Üye :Doç. Dr. Süleyman KAYTAKOĞLU

Üye :

Üye :

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
~~14.02.2001~~.. tarih ve~~9/1~~..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CEVİZ KABUKLARININ YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

ELİF ATABAY

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ö. Mete KOÇKAR
2001

Bu çalışmada, yeni ve yenilenebilir enerji kaynağı, biyokütle adayı ceviz (*Juglans regia*) kabukları seçilmiş ve farklı koşullarda pirolizi gerçekleştirilmiştir. Deneyler iki farklı sabit yatak reaktörde, yavaş piroliz ve hızlı piroliz koşullarında yürütülmüş, piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, parçacık boyutu ve sürükleyici gaz akış hızı gibi piroliz değişkenlerinin, piroliz ürün verimleri üzerine etkisi belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmalarda en uygun koşullarda elde edilen sıvı ürünün çeşitli spektroskopik ve kromatografik yöntemlerle yapısı araştırılmıştır. Sabit yatak borusal reaktörde, en yüksek sıvı ürün verimi %31.22 ile 500 °C piroliz sıcaklığı, +0.6-1.25 mm partikül büyüklüğü, 300 °C dk⁻¹ ısıtma hızı ve 100 cm³dk⁻¹ sürükleyici gaz akış hızında elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen sıvı ürünün yenilenebilir enerji ve kimyasal hammadde kaynağı olarak kullanılabilceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ceviz Kabuğu, Piroliz, Biyokütle, Sentetik Yakıt
Yenilebilir Enerji

ABSTRACT**Master of Science Thesis****ASSESSMENT OF WALNUT SHELL AS A RENEWABLE ENERGY
SOURCES****ELİF ATABAY****Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Chemical Engineering Program****Supervisor: Prof.Dr. Ö.Mete KOÇKAR
2001**

In this thesis, the fixed bed slow and fast pyrolysis experiments have been conducted on a sample of walnut (*Juglans regia*) shell. The experiments were performed in a static fixed bed and well-swept fixed bed retort to investigate, particularly, the influence of pyrolysis temperature, heating rate, particle size and sweep gas velocity on the pyrolysis product yields. In addition, the pyrolysis oil obtained at the conditions of the maximum liquid yield was characterised by using spectroscopic and chromatographic techniques. In the well-swept fixed bed retort, the maximum oil yield of 31.22 % was obtained at 500 °C with a particle size range of 0.6-1.25 mm, heating rate of 300 °C min⁻¹ and sweep gas velocity of 100 cm³min⁻¹. The chemical characterisation has shown that the oil obtained from walnut shell can be used as a renewable fuel and chemical feedstock.

Keywords: Walnut shell, Pyrolysis, Biomass, Synthetic Fuels, Renewable Energy

TEŞEKKÜR

Danışmanlığımı üstlenen, tezimin gerçekleşmesi için gerekli çalışma ortamını sağlayan, çalışmalarımın en küçük ayrıntısına kadar titizlikle ilgilenen, anlayış ve yardımını esirgemeyen, desteğini her an yanında hissettiğim hocam Prof.Dr. Ö.Mete KOÇKAR'a

Çalışmalarım sırasında ilgi ve yardımlarını gördüğüm Y.Doç.Dr. H.Sedat BEİS'e ve Arş.Grv. Özlem ONAY'a,

Çalışmalarım sırasında her türlü fedakarlığı gösteren, her zaman yanımda olan ve beni destekleyen AİLEME teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. ENERJİ.....	5
2.1. Enerji Kaynakları	7
2.2. Türkiye’de Enerji Kaynaklarının Rezervleri Üretim ve Tüketimleri..	10
2.3. Fosil Yakıt Tüketiminin Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri....	15
2.4. Alternatif Enerji Kaynakları.....	26
2.4.1. Güneş enerjisi.....	28
2.4.2. Rüzgar enerjisi.....	30
2.4.3. Jeotermal enerji.....	32
2.4.4. Su enerjisi.....	36
2.4.5. Elektrik enerjisi depolama ve hidrojen enerjisi.....	38
2.4.6. Nükleer enerji.....	40
2.4.7. Biyokütle enerjisi.....	41
3. BİYOKÜTLE.....	43
3.1. Biyokütlenin Tanımı.....	43
3.2. Biyokütle Kaynakları	45
3.2.1. Bitkisel kaynaklı biyokütle.....	45
3.2.2. Hayvansal atıklar.....	50
3.2.3. Şehir çöpleri ve endüstriyel atıklar.....	51
3.3. Biyokütle Potansiyeli.....	54

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

4. BİYOKÜTLEYE UYGULANAN DÖNÜŞÜM SÜREÇLERİ.....	58
4.1. Fiziksel süreçler.....	58
4.1.1. Kurutma	59
4.1.2. Birikitleme.....	59
4.1.3. Parçacık boyutunun küçültülmesi.....	59
4.1.4. Özütleme-ayırma.....	59
4.2. Biyolojik ve biyokimyasal süreçler.....	60
4.2.1. Biyolojik Süreçler.....	60
4.2.2. Fermantasyonla alkol eldesi.....	61
4.2.3. Biyofotoliz.....	63
4.3. Isıl süreçler.....	63
4.3.1. Yanma.....	65
4.3.2. Gazlaştırma.....	66
4.3.3. Sıvılaştırma.....	68
4.3.4. Piroliz.....	70
4.3.4.1. Birincil ürünler.....	74
4.3.4.2. İkincil ürünler.....	76
4.3.5. Biyokütle ürünü yapay yakıtların diğer yakıt kaynaklarıyla karşılaştırılması.....	77
4.3.6. Biyokütle pirolizi üzerine yapılan çalışmalar.....	79
5. CEVİZ HAKKINDA GENEL BİLGİ.....	84
5.1. Ceviz Bitkisinin Tanıtılması.....	84
5.2. Ülkemizde Ceviz Üretimi ve Ekonomik Değeri.....	87
5.3. Cevizin Besin Değeri ve Kullanım Alanları.....	88
6. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	94
6.1. Kullanılan Örneğin Özellikleri.....	94
6.1.1. Boyut küçültme ve elek analizi.....	95
6.1.2. Ceviz kabuklarında nem tayini.....	95

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

6.1.3. Ceviz kabuklarında uçucu madde tayini.....	95
6.1.4. Ceviz kabuklarında toplam kül tayini.....	96
6.1.5. Ceviz kabuklarında ham selüloz miktar tayini.....	97
6.1.6. Elementel analiz.....	97
6.2. Hammaddenin Pirolizi.....	97
6.2.1. Sabit yatak reaktörde yavaş piroliz koşullarında yapılan çalışmalar.....	100
6.2.2. Sabit yatakta borusal reaktörde hızlı piroliz koşullarında yapılan çalışmalar.....	101
6.3. Sıvı Ürünün İncelenmesi.....	102
6.3.1. Sıvı ürün infrared spektrumu (IR).....	102
6.3.2. Sıvı ürün elementel analizi.....	102
6.3.3. Sıvı ürün ¹ H NMR spektrumu.....	103
6.3.4. Sıvı ürün sütun kromatografisi.....	103
6.3.4.1. Sütun kromatografisi eluatlarının IR spektrumu.....	103
6.3.4.2. Sütun kromatografisi pentan eluatlarının gaz kromatografisi.....	104
6.3.4.3. Sütun kromatografisi eluatlarının elementel analizi....	104
6.3.5. Sıvı ürün pentan fraksiyonunun benzetimli distilasyonu.....	104
7. DENEYSEL ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	105
7.1. Kullanılan Örneğin Özellikleri.....	105
7.2. Isıl Değer Sonuçları.....	106
7.3. Piroliz Deney Sonuçları.....	106
7.3.1. Sabit yatak reaktörde yavaş piroliz koşullarında yapılan çalışmalar.....	106
7.3.1.1. Piroliz sıcaklığının ve ısıtma hızının ürün verimlerine etkisi.....	106
7.3.1.2. Parçacık boyutunun piroliz ürün verimlerine etkisi.....	112
7.3.1.3. Sürükleyici gaz akış hızının piroliz ürün verimlerine etkisi.....	117

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

7.3.1.4. En uygun piroliz sıcaklığı, sürükleyici gaz akış hızı ve ısıtma hızı koşullarında parçacık boyutunun etkisi	122
7.3.2. Sabit yatak borusal reaktörde hızlı piroliz koşullarında yapılan çalışmalar.....	125
7.3.2.1. Piroliz sıcaklığının ve ısıtma hızının ürün verimlerine etkisi.....	125
7.3.2.2. Parçacık boyutunun piroliz ürün verimlerine etkisi.....	132
7.3.2.3. Sürükleyici gaz akış hızının piroliz ürün verimlerine etkisi.....	139
7.4. Sıvı ürünün incelenmesi.....	142
7.4.1. Sıvı ürün IR spektrumu.....	142
7.4.2. Sıvı ürün elementel analiz sonuçları.....	143
7.4.3. Sıvı ürün ¹ H NMR spektroskopisi.....	144
7.4.4. Sıvı ürünün sütun kromatografisinde fraksiyonlanması.....	144
7.4.5. Sıvı ürün pentan fraksiyonu gaz kromatogramı.....	145
7.4.6. Sıvı ürün pentan eluatının benzetimli distilasyonu.....	146
7.4.7. Piroliz katı ürününün elementel analizi.....	146
8. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	147
9. KAYNAKLAR.....	152

ŞEKİLLER DİZİNİ

3.1. Biyokütleden enerji eldesi akım şeması	44
4.1. Bitkilerin işlenmesinde gerekli temel işlemler	59
4.2. Biyokütleden elde edilen ürünler	60
4.3. Biyokimyasal parçalanma ile metan gazı eldesi	61
4.4. Biyokütleden biyokimyasal dönüşüm süreçleri ile bio yakıtlara geçiş	62
4.5. Farklı hidrokarbon kaynaklarına ait H/C oranları	78
6.1. Sabit yatak piroliz deney düzeneği	98
6.2. Sabit yatak piroliz retortu	99
6.3. Sabit yatak borusal reaktör deney düzeneği	99
7.1. Düşük ısıtma hızında (7°C/dk) farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen piroliz ürün verimleri	109
7.2. Yüksek ısıtma hızında (40°C/dk) farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen piroliz ürün verimleri	111
7.3. Düşük ısıtma hızında (7°C/dk) farklı parçacık boyutlarında elde edilen piroliz ürün verimleri	114
7.4. Yüksek ısıtma hızında (40°C/dk) farklı parçacık boyutlarında elde edilen piroliz ürün verimleri	117
7.5. Düşük ısıtma hızında (7°C/dk) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen piroliz ürün verimleri	119
7.6. Yüksek ısıtma hızında (40°C/dk) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen piroliz ürün verimleri	121
7.7. Sabit yatak reaktörde en uygun sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızı koşullarında farklı parçacık boyutlarında elde edilen piroliz ürün verimleri	124
7.8. Sabit yatak borusal reaktörde 100°C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen piroliz ürün verimleri	127
7.9. Sabit yatak borusal reaktörde 300°C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen piroliz ürün verimleri	129
7.10. Sabit yatak borusal reaktörde 800°C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen piroliz ürün verimleri	131

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

7.11. Sabit yatak borusal reaktörde 100°C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında elde edilen piroliz ürün verimleri	134
7.12. Sabit yatak borusal reaktörde 300°C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında elde edilen piroliz ürün verimleri	136
7.13. Sabit yatak borusal reaktörde 800°C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında elde edilen piroliz ürün verimleri	138
7.14. Sabit yatak borusal reaktörde farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen piroliz ürün verimleri	141
7.15. Farklı ısıtma hızlarında farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen sıvı ürün verimleri	141
7.16. Sıvı ürün (a), pentan eluatı (b), toluen eluatı (c) IR spektrumları	143
7.17. Sıvı ürün ¹ H NMR spektrumu	144
7.18. Sıvı ürün pentan eluatı gaz kromatogramı	145
7.19. Benzetimli distilasyon eğrileri	146

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1. Dünya fosil yakıt rezervleri	8
2.2. Dünya fosil yakıtları mevcut rezervlerinin kullanılabilir süreleri	8
2.3. Dünya fosil yakıt üretimleri	8
2.4. 1998 yılı dünya fosil yakıt tüketimleri	10
2.5. Ülkemizde 1990-1998 yılları arasında birincil enerji kaynakları üretimi	14
2.6. Ülkemizde 1990-1998 yılları arasında birincil enerji kaynakları tüketimi	14
2.7. Ülkemiz birincil enerji kaynak rezervleri	15
2.8. Kaynaklar göre enerji kullanım eğilimleri, 1990-1997	27
2.9. Güneş enerjisi sistemleri	29
2.10. Jeotermal akışkanın sıcaklığa göre kullanım yerleri	34
3.1. Bazı biyokütle kaynaklarının özellikleri	46
3.2. Bazı tarımsal atıkların bileşimi	48
3.3. Bazı enerji kaynaklarının biogaz ile karşılaştırılması	51
3.4. Bir kısım katı atıkların yaklaşık ısıl değerlikleri ve yoğunlukları	52
3.5. Enerji ormanlarından elde edilebilecek odun üretim tahminleri	56
3.6. Enerji ormanı olarak yetiştirilen bazı ağaç türlerinin enerji değerleri	56
3.7. Tezek ve bitki atıkları üretimi	57
4.1. Biyokütleyle uygulanan dönüşüm süreçleri	58
4.2. Termokimyasal dönüşüm teknolojileri	64
4.3. Birincil termokimyasal dönüşüm ürünleri ve teknolojileri	64
4.4. İkincil ürünler ve dönüşüm teknolojileri	65
4.5. Biyokütle ve biyokütleden elde edilen yan ürünlerin enerji ve yoğunluk karakteristikleri	65
4.6. Piroliz teknolojilerinin karakteristikleri	73
4.7. Piroliz proseslerinin özellikleri	74
4.8. Farklı maddeler için ürün verimleri	74
4.9. Katı ürün verimine piroliz sıcaklığının etkisi	75
4.10. Char kullanım alanları	75
4.11. Farklı yakıt kaynaklarının H/C oranları	77

ÇİZELGELER DİZİNİ (DEVAM)

5.1. Önemli ceviz üreticisi ülkelerde yıllara göre ceviz üretimi	88
5.2. Ülkemizde 1995-1999 yılları arasında ceviz üretimi	88
5.3. 100 gr ceviz içinin bileşimi	89
5.4. Ceviz yağının asli yağ asitlerine dağılım oranı	90
7.1. Ceviz kabuğu analiz sonuçları	105
7.2. Ceviz kabuğunun elementel analizi	105
7.3. Ceviz kabuğu, sıvı ürün ve katı ürün ısıtma değerleri	106
7.4. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	107
7.5. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	107
7.6. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	107
7.7. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	108
7.8. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	108
7.9. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	109
7.10. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	109
7.11. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	110
7.12. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	110
7.13. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	110
7.14. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	112

ÇİZELGELER DİZİNİ (DEVAM)

7.15. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	112
7.16. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	113
7.17. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	113
7.18. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	113
7.19. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	115
7.20. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	115
7.21. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	115
7.22. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	116
7.23. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	116
7.24. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları	118
7.25. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları	118
7.26. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları	118
7.27. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları	119
7.28. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları	120
7.29. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları	120

ÇİZELGELER DİZİNİ (DEVAM)

7.30. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları	120
7.31. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları	121
7.32. Sabit yatak reaktörde en uygun sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızı koşullarında farklı parçacık boyutlarında elde edilen sonuçlar	122
7.33. Sabit yatak reaktörde en uygun sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızı koşullarında farklı parçacık boyutlarında elde edilen sonuçlar	123
7.34. Sabit yatak reaktörde en uygun sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızı koşullarında farklı parçacık boyutlarında elde edilen sonuçlar	123
7.35. Sabit yatak reaktörde en uygun sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızı koşullarında farklı parçacık boyutlarında elde edilen sonuçlar	123
7.36. Sabit yatak reaktörde en uygun sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızı koşullarında farklı parçacık boyutlarında elde edilen sonuçlar	124
7.37. Sabit yatak borusal reaktörde $100^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	125
7.38. Sabit yatak borusal reaktörde $100^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	126
7.39. Sabit yatak borusal reaktörde $100^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	126
7.40. Sabit yatak borusal reaktörde $100^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	126
7.41. Sabit yatak borusal reaktörde $100^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	127
7.42. Sabit yatak borusal reaktörde $300^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	128
7.43. Sabit yatak borusal reaktörde $300^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	128
7.44. Sabit yatak borusal reaktörde $300^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	128

ÇİZELGELER DİZİNİ (DEVAM)

7.45. Sabit yatak borusal reaktörde 300 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	129
7.46. Sabit yatak borusal reaktörde 300 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	129
7.47. Sabit yatak borusal reaktörde 800 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	130
7.48. Sabit yatak borusal reaktörde 800 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	130
7.49. Sabit yatak borusal reaktörde 800 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	130
7.50. Sabit yatak borusal reaktörde 800 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	131
7.51. Sabit yatak borusal reaktörde 800 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları	131
7.52. Sabit yatak borusal reaktörde 100 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	132
7.53. Sabit yatak borusal reaktörde 100 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	132
7.54. Sabit yatak borusal reaktörde 100 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	133
7.55. Sabit yatak borusal reaktörde 100 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	133
7.56. Sabit yatak borusal reaktörde 100 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	133
7.57. Sabit yatak borusal reaktörde 300 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	134
7.58. Sabit yatak borusal reaktörde 300 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	135
7.59. Sabit yatak borusal reaktörde 300 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	135

ÇİZELGELER DİZİNİ (DEVAM)

7.60. Sabit yatak borusal reaktörde 300 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	135
7.61. Sabit yatak borusal reaktörde 300 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	136
7.62. Sabit yatak borusal reaktörde 800 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	137
7.63. Sabit yatak borusal reaktörde 800 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	137
7.64. Sabit yatak borusal reaktörde 800 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	137
7.65. Sabit yatak borusal reaktörde 800 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	138
7.66. Sabit yatak borusal reaktörde 800 ⁰ C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları	138
7.67. Sabit yatak borusal reaktörde farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen sonuçlar	139
7.68. Sabit yatak borusal reaktörde farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen sonuçlar	139
7.69. Sabit yatak borusal reaktörde farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen sonuçlar	140
7.70. Sabit yatak borusal reaktörde farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen sonuçlar	140
7.71. Yavaş ve hızlı piroliz sıvı ürünlerinin elementel analiz sonuçları	143
7.72. Sıvı ürün sütun kromatografisi sonuçları	145
7.73. Katı ürün elementel analiz sonuçları	146

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

GWh	: Giga watt-saat
GJ	: Giga joule
Ha	: Hektar
KWh	: Kilowatt-saat
Mt	: Milyon ton
Mtep	: Milyon ton petrol eşdeğeri
MW	: Megawatt (10^6 W)
TEP	: Ton petrol eşdeğeri
TWh	: Terawatt-saat

1. GİRİŞ VE AMAÇ

İnsanoğlunun temel ihtiyaçlarını karşılamaında ve ülkelerin ekonomik olarak kalkınmalarının sağlanmasında en önemli gereksinimlerden biri enerjidir. Bugün kullanılan enerjinin büyük bir bölümü kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtlar kısa süreçte yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır ve kullandığımızdan daha az bir bölümü yeniden oluşmaktadır. Özellikle de artan nüfus, şehirleşme ve endüstrileşme bu yakıtlarla karşılanan enerji gereksiniminin artmasına neden olmaktadır. Fosil yakıtların tükenmesi ve fiyatlarının devamlı artmasının yanı sıra yanmaları sonucu çevreye verdikleri zararlar ve insan sağlığı üzerindeki etkileride büyüktür.

Günümüzün başlıca enerji kaynaklarından olan fosil yakıtların 1998 yılı rakamlarına göre rezerv durumları incelendiğinde, kömür 218 yıl, petrol 41 yıl, doğal gaz 63 yıl sonra tükenecektir [1]. Yıllar geçtikçe yeni rezervler bulunmakta veya teknolojinin gelişmesiyle eskiden ekonomik olmayan kaynaklarda buna katılmaktadır. Fakat şu anda fosil yakıt tüketim hızı dünyada fosil oluşum hızının 300000 katıdır, diğer bir deyişle bir günde bin yıllık oluşum tüketilmektedir. Bu durumda akla gelen yeni enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerji kaynaklarıdır. Nükleer enerjinin kullanımı konusunda tam bir güven olmaması ve geçmişte yaşanan nükleer kazalar, yenilenebilir enerji kaynaklarını ön plana çıkarmaktadır.

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları denildiğinde akla “güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle ve hidrolik” enerji kaynakları gelmektedir. Bu kaynakların çevreyi daha az kirletmeleri, taşıma problemlerinin az olması ve yenilenebilir olmaları en önemli özellikleridir.

Ülkemiz gelişmekte olan bir ülkedir, gelişimini sürdürebilmesi için gerekli olan enerjiyi zamanında, yeterli miktarda, uygun ekonomik koşullarda ve çevreye zarar vermeden temin edip kullanması gerekmektedir. Ülkemiz enerji yönünden önemli ölçüde dışa bağımlı ülkeler arasında yer almaktadır. Söz konusu birincil enerji kaynaklarının tüketimi karşılayamaması nedeniyle ham petrol 1961, taşkömürü 1973, doğal gazda 1987 yılından itibaren ithal edilmektedir.

1997 yılında Türkiye'nin toplam enerji tüketimi 71.4 milyon TEP'tir. Bu değerde en büyük payı %43 ile petrol almakta, %29'la kömür onu izlemekte ve %13 ile doğal gaz gelmektedir. Görüldüğü gibi, bu kaynaklar kendini uzun sürede yenileyen kaynaklardır ve giderek tükenmektedirler. Türkiye'nin kısa sürede kendini yenileyen kaynaklardan yararlanması ise, toplam enerji tüketiminin %15'idir. Bu değer %70'i odun ve tezek, %30'u ise büyük ölçekli su gücü santralleridir. Bunun yanında rüzgar, güneş gibi günlük yenilenen enerji kaynaklarının kullanımında ki oranlar neredeyse göz önüne alınamayacak denli küçüktür. Oysa gerek rüzgar gücü, gerekse güneş enerjisi açısından ülkemiz uygun bir coğrafyada bulunmakta ve bu kaynaklardan daha büyük oranlarda yararlanabilecek durumdadır [2].

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları içinde biyokütle önemli bir paya sahiptir. Biyokütlenin dünyadaki yıllık üretiminin 10^{11} - 10^{12} ton olduğu tahmin edilmektedir [2]. Biyokütlenin sanayileşmiş ülkelerdeki birincil enerji tüketimindeki payı genelde %3'ün altındadır. Fakat bazı ülkelerde, örneğin Finlandiya %15, İsveç %9, Amerika %4, Eski Rusya Devletleri %3-4 oranında biyokütle enerjisi kullanılmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde bu oran daha da artmaktadır; örneğin Nepal enerji ihtiyacının %95'ini, Kenya %75'ini, Hindistan %50'sini, Çin %33'ünü, Brezilya %25'ini, Mısır ve Fas %20'sini biyokütle enerjisiyle karşılamaktadır [4].

Ülkemiz için yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları içinde biyokütlenin özel bir önemi vardır, 1984 yılı istatistiklerine göre kuru tarımsal atıklar, hayvansal atıklar, orman ürünleri, odun atıkları ve şehir çöpleri gibi atıklardan elde edilebilecek enerjinin 17.2 megaton petrole eşdeğer olduğu hesaplanmıştır [5]. Günümüzde biyokütle; uygulanan fiziksel, biyolojik ve ısıl dönüşüm süreçlerine bağlı olarak çok farklı şekillerde enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Biyokütlenin alternatif enerji kaynağı olarak değerlendirilmesinde kullanılan ısıl dönüşüm süreçlerinden birisi olan piroliz, son yıllarda çalışmaların üzerinde yoğunlaştığı bir yöntemdir. Biyokütleye uygulanan piroliz süreçleri ile sıvı ve gaz yakıtlar ile aktif kömür üretilebilmekte; böylelikle bitkisel atıklar, hayvansal atıklar, şehir çöpleri ve endüstriyel atıklar enerji kaynağı yada kimyasal hammadde olarak değerlendirilmektedir.

Yapılan bu çalışmada biyokütle kaynağı olarak ülkemizin hemen her bölgesinde yetişen ceviz bitkisinin kabukları seçilmiş ve ceviz kabuklarına yüksek verimde sıvı ürün elde edilmesine olanak sağlayan piroliz işlemi uygulanmıştır. Ceviz kabuklarının pirolizi sabit yatak reaktör ve sabit yatak borusal reaktörde farklı piroliz şartlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sıvı ürün spektroskopik ve kromatografik yöntemlerle incelenmiştir.

Sabit yatak reaktörde yapılan çalışmalarda piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, parçacık boyutu ve sürükleyici gaz (N_2) akış hızı parametre olarak seçilmiş ve bu parametrelerin piroliz ürün verimlerine olan etkisi araştırılmıştır. Piroliz deneyleri öncelikle yavaş piroliz koşullarında ortalama +0.6-1.25 mm parçacık boyutundaki örnekte, 350, 400, 500, 550 ve 700⁰C piroliz sıcaklıklarında, düşük ısıtma hızı (7⁰C/dk) ve yüksek ısıtma hızında (40⁰C/dk) olmak üzere iki farklı ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu grup çalışma sonuçlarına göre belirlenen en uygun piroliz sıcaklığı olan 500⁰C da, $D_p < 0.224$, $0.224 < D_p < 0.6$, $0.6 < D_p < 1.25$, $1.25 < D_p < 1.8$ ve $D_p > 1.8$ mm parçacık boyutundaki örnekte, her iki ısıtma hızında piroliz deneyleri yürütülmüştür. Bu grup çalışmalar sonucunda en uygun parçacık boyutu seçilmiş ve sabit yatak sürükleyici ortam piroliz deneyleri 500⁰C piroliz sıcaklığı, +0.6-1.25 mm parçacık boyutundaki örnekte düşük (7⁰C/dk) ve yüksek (40⁰C/dk) ısıtma hızlarında, 50, 100, 200 ve 400 cm³/dk olmak üzere dört farklı sürükleyici gaz akış hızlarında gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda elde edilen en uygun koşullarda, 500⁰C piroliz sıcaklığı, 40⁰C/dk yüksek ısıtma hızı ve 100 cm³/dk azot akış hızında parçacık boyutunun etkisi bir kez daha kontrol edilmiştir.

Sabit yatak borusal reaktörde hızlı piroliz koşullarında yapılan çalışmalarda öncelikle, piroliz sıcaklığının etkisini belirlemek amacı ile deneyler ortalama +0.6-1.25 mm parçacık boyutunda, 100 cm³/dk azot akış hızında, ısıtma hızının ve piroliz sıcaklığının etkisini incelemek amacı ile 100, 300 ve 800⁰C/dk ısıtma hızlarında ve 350, 400, 500, 550 ve 700⁰C olmak üzere beş farklı piroliz sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda belirlenen en uygun piroliz sıcaklığında (500⁰C), ısıtma hızının ve parçacık boyutunun etkisini incelemek amacı ile 100, 300 ve 800⁰C/dk ısıtma hızlarında, $D_p < 0.224$, $0.224 < D_p < 0.6$, $0.6 < D_p < 1.25$, $1.25 < D_p < 1.8$ ve $D_p > 1.8$ mm parçacık boyutlarında

deneyler yürütülmüştür. Deneylerde sürükleyici gaz akış hızı $100 \text{ cm}^3/\text{dk}$ olarak alınmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda en uygun piroliz sıcaklığı (500°C), ısıtma hızı ($100^\circ\text{C}/\text{dk}$) ve parçacık boyutu ($+0.6-1.25 \text{ mm}$) belirlenmiş ve bu parametreler kullanılarak sürükleyici gaz akış hızının etkisini kontrol etmek amacı ile deneyler $50, 100, 200$ ve $400 \text{ cm}^3/\text{dk}$ sürükleyici gaz akış hızlarında yürütülmüştür. Deneylerde piroliz sıcaklığı, parçacık boyutu ve sürükleyici gaz akış hızlarının; piroliz dönüşüm verimine, katı, sıvı ve gaz ürün verimi ile oluşan su verimine etkileri incelenmiştir.

Çalışmalarda elde edilen sıvı ürünlerin ısı değeri belirlenmiş, IR spektrumları alınmış, elementel analizleri yapılarak molar gösterimleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sıvı ürün sütun kromatografisinde alifatikler, aromatikler ve polarlar olarak fraksiyonlarına ayrılmış ve bu fraksiyonların elementel analizleri yapılarak molar gösterimleri ortaya konmuş, IR spektrumları alınarak fonksiyonel grupları belirlenmiştir.

2. ENERJİ

Sanayileşme, sosyal ve ekonomik gelişmenin en önemli temel girdisi enerjidir. Amaca uygun olarak enerji kaynaklarını şu şekilde sınıflandırmak mümkündür :

a) Kendini yenilemeyen enerji kaynakları: Bu kaynaklara örnek olarak çekirdeksel yakıtlar (uranyum ve toryum) gösterilebilir. Bu yakıtlar, dünyanın oluşumuyla oluşmuşlardır ve dünyadaki miktarları bellidir, kullanılmalarıyla belirli bir süre sonunda tükenenlerdir. Bu kaynakları yenilemenin yeniden üretmenin bir yolu yoktur. Bu çeşit enerji kaynaklarına başka bir örnekte yer içi ısısı yani jeotermal enerjidir. Her ne kadar bu kaynağın, içindeki ışın saçar maddelerle kendi ısını koruduğuna ilişkin görüşler varsa da temelde bu kaynak dünyanın oluşumuyla oluşmuş bir kaynaktır. Yer yuvarlağının $10^{21}m^3$ 'lük bir hacmi olduğu göz önüne alındığında, neredeyse tükenmez bir kaynak olarak değerlendirilebilir.

b) Kendini uzun sürede yenileyebilen enerji kaynakları: Bu kaynaklara en iyi örnek fosil yakıtlardır. Fosil yakıtlar milyonlarca yılda oluşmuşlardır, kendilerini yenilerler ancak bu işlem çok uzun sürede olur. Kaba bir ölçüyle dünyadaki fosil yakıt tüketim hızı, fosil oluşum hızının 300000 katı dolayındadır.

c) Kendini çok uzun olmayan sürede yenileyebilen enerji kaynakları: Bu kaynaklara örnek olarak biyokütle ve su gücü verilebilir. Biyokütle kendini yenileyen bir enerji kaynağıdır ve güneş enerjisinin depolandığı bir yakıttır. Eğer üretildiği oranda tüketilirse, tükenmez enerji kaynağı olarak değerlendirilebilir. Su gücünden yararlanmada en önemli uygulama, akarsulardan yararlanmaktır, bu amaçla yapılan büyük barajların bazı iklimsel ve ekolojik yönden değişimleri ortaya çıkarmalarına karşın bu kaynakta tükenmez ve temiz bir kaynak olarak değerlendirilebilir.

d) Kendini kısa sürede yenileyen enerji kaynakları, günlük enerji kaynakları: Güneş enerjisi, rüzgar, dalga ve gel-git günlük enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların kendilerini yenilemeleri için geçen süre, gün mertebesinde [2].

Enerji kaynaklarını bu şekilde sınıflandırdıktan sonra enerji konusunda günümüzde hakim olan görüş; sınırlı enerji kaynaklarının rasyonel kullanılmasıyla enerji tasarrufu sağlanması, mevcut enerjiyi daha verimli hale getirmek ve kendini

çok uzun olmayan yada kısa sürede yenileyebilen alternatif enerji kaynaklarının daha etkin kullanılması doğrultusundadır. Enerjinin verimli kullanılmasında göz önüne alınacak parametreler:

1) Enerji kaynağını seçmek ve kullanmak: Enerji kaynağını seçerken ilk aklı gelen konu, enerji kaynağının “enerji yoğun” bir kaynak olmasıdır. Başka bir deyişle, enerji kaynağının birim hacimde dönüştürülebilir enerjisinin fazla olması istenilir. İkinci konu, kaynağın ekonomik olarak kullanılabilirliğidir. Kaynaktan yararlanabilme tekniklerinin gelişmiş ve uygulanır olması, her yerde bu kaynağa kolayca erişilebilirlik, ucuzluk önemli etkenlerdir. Bunların yanı sıra kaynağın rezervleri yani ne kadar bir süre kullanılabileceği ve kullanırken çevreye verebileceği etkilerde parametredir.

2) Kullanılan enerji kaynağını, istenilen enerjiye verimli olarak dönüştürecek aygıt yada sistemi seçmek yada geliştirmek: Enerji kaynağı seçildikten sonraki aşama bu kaynaktan yararlanma aşamasıdır. Yararlanmadan kasıt, enerji kaynağındaki enerjiyi istenilen enerjiye dönüştürmektir. Geliştirilen dönüştürücülerde bilimsel verimlilik sınırları göz önüne alınarak tasarımlar yapılmaktadır.

3) Dönüştürülen enerjiyi kullanıcıya verimli olarak ulaştırmak: Elektrik yada ısı taşımalarındaki kaçakların küçük ölçekli bireysel enerji üretimleri ile azaltılması günlük enerji kaynaklarının bireysel kullanımı ile önemli ölçüde düşürülebilecektir. “Yerinde üret ve tüket” görüşü ile bu tür uygulamaların özendirilmesi taşımadaki kaybı azaltacağı gibi diğer kaçakların yol açtığı kayıpları da azaltmada rol oynayacaktır.

4) Kullanıcının kendisine ulaştırılan enerjiyi verimli kullanması : Bu aşamadaki verimliliğin en önemli noktası eğitimidir ve enerjinin verimli kullanılması konusunda eğitilen tüketicilerin bilinçli tüketiciler olarak en önemli rolü üstleneceği de açıktır [2].

Ülkemizin sanayi, konut, ve ulaşım sektörlerinde toplam enerji tüketiminin % 50'sinden az olmamak üzere büyük bir enerji tasarrufu potansiyelinin bulunduğu göz önüne alındığında, enerjinin verimli kullanılmasının önemi daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

20.yüzyıla damgasını vuran teknoloji ve sosyal kalkınmanın ana ögesi olan enerjinin sağlanmasında ana kaynak olan fosil yakıtların gelişmiş sanayi toplumları kadar gelişmekte olan ülkelere de hızla tüketilmesi enerji ithal eden ülkeleri kömür, petrol, doğal gazdan elde edilen hammadde ve enerjiyi başka doğal kaynaklardan üretmeyi sağlayacak yeni teknolojilerin geliştirilmesine yöneltmiştir.

Alternatif enerji ve kimyasal hammadde kaynaklarının araştırılmasının yanında, çevrenin korunması da sanayileşmiş toplumların karşı karşıya kaldığı önemli sorunların başında gelmektedir. Günümüzde katı atıkların oluşturduğu çevre kirliliği sorunu büyük boyutlara ulaşmış çevre kirliliğinin önlenmesinin yanı sıra, geri kazanılarak ekonomiye katkı sağlanması da göz önüne alınmaya başlamıştır.

Bu bölümde, dünyanın ve ülkemizin enerji sorunundan yaygın olarak kullanılan katı yakıtların çevreye etkilerinden bahsedilerek alternatif enerji kaynakları anlatılacaktır.

2.1. Enerji Kaynakları

Dünya nüfusunun artışına ve gelişen teknolojiye paralel olarak enerji gereksinimi giderek artmaktadır, buda sınırlı olan birincil enerji kaynaklarının (petrol, kömür, doğal gaz) giderek azalmasına neden olmaktadır. Günümüzde mevcut enerji kaynakları olarakta fosil yakıtlar, hidrolik enerji, nükleer enerji ve yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları sayılabilir.

Dünya genelinde enerji ihtiyacının büyük bir kısmı birincil enerji kaynakları olarak bilinen petrol, kömür ve doğal gaz ile karşılanmaktadır. Bu birincil enerji kaynakları halen dünya enerji ihtiyacının %77'sini karşılamaktadır. Dünya enerji konseyi bu oranın 2020 yılında %74 olacağını öngörmektedir [6].

Nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarının katkılarına rağmen dünya hâlâ fosil çağında bulunmaktadır. Elektrik üretiminde kömür egemendir, petrol taşıt yakıtları üzerinde neredeyse tekeldir ve doğal gazda gelişmekte olan ülkelere biyokütle enerjisinin önemli katkısı ile kışın ısıtma için kullanılan en yaygın yakıttır. Küresel bazda dünyanın birincil enerjisinin biyokütle %13'ünü sağlarken

%75'ini fosil yakıtlar sağlamaktadır. 1998 yılına ait dünyada fosil yakıtların bölgelere göre rezerv durumları Çizelge 2.1'de, rezervlerin kullanılabilme süreleri Çizelge 2.2'de, fosil yakıt üretimleri de Çizelge 2.3'de verilmiştir [1].

Çizelge 2.1. Dünya fosil yakıt rezervleri [1]

Bölge	Petrol	Doğal Gaz	Kömür(Milyar Ton)	
	Milyar Ton	Trilyon m ³	Taş Kömürü	Linyit
Kuzey Amerika	11.5	8.4	116.7	139.8
Orta ve Güney Amerika	13.0	6.2	7.8	13.7
Avrupa	2.7	5.2	41.7	80.4
Eski SSCB Ülkeleri	9.1	56.7	97.5	132.7
Orta Doğu	91.2	49.5	0.2	-
Afrika	10.1	10.2	61.2	0.2
Asya ve Okyanusya	5.8	10.2	184.4	107.9
TOPLAM DÜNYA	143.4	146.4	509.5	474.7

Çizelge 2.2. Dünya fosil yakıtları mevcut rezervlerinin kullanılabilme süreleri [1]

Bölge	Petrol	Doğal Gaz	Kömür
	Yıl	Yıl	Yıl
Kuzey Amerika	18	12	235
Orta ve Güney Amerika	37	72	>500
Avrupa	8	18	158
Eski SSCB Ülkeleri	25	83	>500
Orta Doğu	83	>100	186
Afrika	28	>100	266
Asya ve Okyanusya	16	41	146
TOPLAM DÜNYA	41	63	218

Çizelge 2.3. Dünya fosil yakıt üretimleri [1]

Bölge	Petrol	Doğal Gaz	Kömür	TOPLAM
	Milyon Ton	Milyon TEP	Milyon TEP	Milyon TEP
Kuzey Amerika	667.0	665.1	636.5	1968.6
Orta ve Güney Amerika	343.3	78.0	29.2	450.5
Avrupa	325.0	246.9	260.5	832.4
Eski SSCB Ülkeleri	361.3	579.6	181.0	1121.9
Orta Doğu	1096.8	162.9	0.8	1260.5
Afrika	360.1	91.1	123.0	574.2
Asya ve Okyanusya	365.4	221.3	999.8	1586.5
TOPLAM DÜNYA	3518.9	2044.9	2230.8	7794.6

1998 yılında dünya toplam petrol üretiminde %1.4'lük bir artış kaydedilmiş ve üretim 3.5 milyar ton olarak gerçekleşmiştir. Petrol üretiminde ilk sırayı 1.1 milyar ton ve % 32 pay ile Orta Doğu ülkeleri almıştır. Orta Doğu ülkelerinden Suudi Arabistan 443.2 Mt üretim ve dünya üretimindeki % 13'lük payı ile bu ülkelerin başında gelmektedir. Orta Doğu ülkelerini 367.9 Mt'luk üretim ve % 11'lik pay ile A.B.D ve 304.3 Mt'luk üretim ve % 9'luk pay ile Rusya Federasyonu ülkeleri izlemektedir [1].

1998 yılında doğal gaz üretimi 2.3 trilyon m³ olarak gerçekleşmiş olup bir önceki yıl üretimine nazaran % 2.2'lik bir artış kaydedilmiştir. 1998 yılında doğal gaz üretiminde ABD'nin önüne geçerek 551.3 milyar m³ üretim ve % 24.3'lük pay ile Rusya en büyük üretici durumuna gelmiştir. 543.8 milyar m³ üretim ve dünya toplamı içindeki % 23.9'luk payı ile ABD onu izlemiştir. Doğal gaz üretiminde Rusya ve ABD'nin ardından 160.4 milyar m³ üretim ve % 7.1'lik pay ile Kanada üçüncü sırayı almaktadır [1].

1998 yılında linyit ve taş kömürü üretimleri toplamı 2.2 milyar ton petrol eşdeğeri olarak gerçekleşmiştir. 626 Mtep üretim ve % 28'lik pay ile kömür üreticisi ülkelerin başında Çin gelmekte, onu 590 Mtep üretim ve % 26'lık pay ile ABD, 148 Mtep üretim ve % 7'lik pay ile Hindistan ve Avustralya, 118 Mtep üretim ve % 5'lik pay ile Güney Afrika takip etmektedir [1].

1998 yılında, 1997 yılına göre fosil yakıtların üretim oranlarında önemli değişiklikler görülmektedir. 1998 yılı fosil yakıt tüketimleri içerisinde petrol % 44 ile ağırlığını korumuş, onu % 29 ile kömür ve % 27 ile doğal gaz takip etmiştir Dünya fosil yakıt tüketimleri ve bölgelerde tüketilen yakıt türlerinin toplam tüketim içerisindeki payları Çizelge 2.4'te verilmiştir [1].

Gelecek on yıl için planlanan 665360 MW yeni güç kapasitesinin %60'ı kömür, doğal gaz ve petrolden sağlanacaktır. Yeni kapasitenin çoğu Asya'daki enerji büyümesinden kaynaklanacaktır. Doğal gaz giderek artan ölçüde elektrik üretmek üzere kullanılacaktır. Gaz türbinlerinin verimi son yıllarda artmış ve doğal gaz fiyatları düşmüştür. Ucuz olmaları ve kurulup işletilebilmeleri kolay olduğundan elektrik şirketleri doğal gaz santrallerini kısa dönemli güvenli bir seçenek olarak görmektedir .

Günümüze kadar enerji kullanımı konusundaki tüm kararlar maliyet ve mevcudiyet üzerine dayandırılıyorken, şimdilerde fosil yakıtlardan kaynaklanan karbon emisyonları küresel iklim değişikimine neden olmaya başlayınca, çevresel endişeler giderek önem kazanmaya başlamıştır. Dünya fosil yakıtlardan vazgeçmek durumundadır fakat ülkelerin endüstri ve hükümetleri bu yönde gidişe karşı direnmektedir.

Çizelge 2.4. 1998 yılı dünya fosil yakıt tüketimleri [1]

Bölge	Petrol		Doğal Gaz		Kömür		TOPLAM	
	Mtep	%	Mtep	%	Mtep	%	Mtep	%
Kuzey Amerika	1018	45	665	30	566	25	2248	100
Orta ve Güney Amerika	217	69	78	25	19	6	313	100
Avrupa	760	56	247	18	350	26	1357	100
Eski SSCB Ülk.	184	20	580	62	166	18	930	100
Orta Doğu	204	54	163	44	7	2	374	100
Afrika	112	37	91	31	96	32	299	100
Asya/Okyanusya	895	42	221	10	1016	48	2131	100
TOPLAM DÜNYA	3390	44	2045	27	2220	29	7652	100

2.2.Türkiye'de Enerji Kaynakları Rezervleri Üretim ve Tüketimleri

Enerji açısından kalkınma yarışı içerisinde bulunan ülkemizin durumu diğer gelişmekte olan ülkelere benzerdir. Yıllardır Batı Avrupa ülkelerinin sanayi üretim seviyesine çıkabilmek için uğraş veren ülkemizin bu konudaki en önemli darboğazlarından biride enerji açığıdır. İleriye dönük olarak enerji dengemiz incelendiğinde enerji açısından dışa bağımlılığın giderek arttığı görülmektedir. Enerji talebimizin yerli üretimle karşılanma oranı 1990 yılında %47.7 iken 1995'te %41.5, 1996'da %38.8, 1997'de %37.8, 1998'de %38.9 olmuştur. Bu oranın 2000 yılında %33, 2005 yılında %26, 2008 ve 2010 yıllarında iki adet nükleer santralin devreye alınması programlandığından %28, 2020 yılında ise %24 olması beklenmektedir [1].

1998 yılında 74249 bin TEP olan nihai enerji tüketiminin sektörlere dağılımına bakıldığında tüketimde %38 ile sanayi sektörü ilk sırayı almakta bunu %34 ile konut ve hizmetler ve % 19 ile ulaştırma sektörleri takip etmektedir. 1990

yılındaki payı % 35 olan sanayi sektörünün payının % 38'e yükselmesi ülkemizde özellikle enerji yoğun sanayinin geliştiğinin bir göstergesidir [1].

Enerji üretim artışının talepten daha düşük olması nedeniyle 1990-1998 yılları arasında net ithalatta % 6'lık bir artış gerçekleşmiş ve net ithalat yaklaşık 1.5 kat artarak 1990 yılındaki 28.5 Mtep seviyesinden 1998 yılında 45.6 Mtep seviyesine ulaşmıştır [1].

Geçmiş yıllarda olduğu gibi 1998 yılında da petrol başta olmak üzere doğal gaz, kömür ve elektrik enerjisi ithalatları yapılmıştır. Taş kömürü ve ikincil kömür ithalatları toplam olarak 8.8 Mtep (%18), ham petrol ve petrol ürünleri 30.3 Mtep (%62.3), doğal gaz 9.3 Mtep (%19.1) ve elektrik 0.3 Mtep (%0.6) olarak gerçekleşmiştir [1].

1998 yılında Rusya Federasyonundan 6.5 milyar m³ doğal gaz, Katar ve Cezayir'den 3.7 milyar m³ doğal gaz eşdeğeri ve sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) olmak üzere toplam 10.2 milyar m³'lük ithalat yapılmıştır. Toplam ihracat gelirlerinin % 17'si enerji kaynakları ithalatına ödenmiştir [1].

Türkiye kaynak rezervlerinin dünya rezervleri içindeki yeri incelendiğinde kömür rezervi ile jeotermal ve hidrolik enerji potansiyellerinin dünya kaynak varlığının %1'i civarında olduğu görülmektedir. Petrol ve doğal gaz rezervlerimiz son derece kısıtlıdır. Toryum rezervimiz ise dünya rezervinin %54'ünü oluşturmaktadır. Ancak bu rezervin değerlendirilmesi henüz tecrübe aşamasındadır [1].

Bu gün ülkemizde fosil yakıtlar içerisinde yer alan kömürün büyük bir rezerve sahip olduğu bilinmekte ve taşkömürü, linyit, asfaltit ile bitümlü şistler üretilmektedir. Dünya kömür rezervleri içinde kömür varlığımızın enerji eşdeğeri cinsinden yeri yaklaşık %0.46'dır [7]. Kömür dünyanın en büyük organik kimyasal madde kaynaklarından ve sadece kimyasal madde sağlamakla kalmayıp endüstriyel işlemler için gerekli olan ısı ve gücünde büyük bir kısmının kaynağıdır aynı zamanda organik boyar maddeler, ilaç, tarım ilacı ve elastomerlerden modern plastiklere kadar uzanan temel endüstrisinde hammaddesidir.

Ülkemizde en zengin taşkömürü yatakları Zonguldak ve çevresinde Ereğli'den Amasra'ya kadar uzanan sahil şeridinde bulunmaktadır. Son yapılan

çalışmalara göre görünür 423 milyon ton olmak üzere toplam 1.1 milyar ton rezerv tespit edilmiştir. Ayrıca Toroslar ve Diyarbakır civarında 20 milyon ton rezerv bulunduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'nin dünya taşkömürü rezervleri içindeki payı yaklaşık %0.2'dir. Isıl değeri yüksek olan taşkömürü yaygın olarak demir-çelik tesislerinde, havagazı fabrikalarında, ısınma sektöründe ve elektrik santrallerinde kullanılmaktadır. 1990 yılında 8.2 milyon ton olan taşkömürü tüketimi yıllık ortalama %6.1 artışla 1998 yılında 13.1 milyon tona ulaşmıştır. Bu miktarın 10.5 milyon tonu demir çelik sektörü dahil olmak üzere sanayi sektöründe tüketilmiştir [1].

Yerli kaynaklarımız arasında önemli bir yeri olan linyitte ülkemizin hemen hemen her yerinde rastlanmaktadır. Toplam 8.4 milyar ton olan linyit rezervlerimiz dünya rezervleri içinde %3'lük bir paya sahiptir. En önemli kullanım alanları konut ısıtma, elektrik santralleri ve sanayi olan linyitin ülkemizdeki görünür rezervinin önemli bir kısmını Elbistan linyit yatakları oluşturmaktadır. 1990 yılında 44.4 milyon ton olan linyit üretimi, 1998 yılında 65.2 milyon tona ulaşmıştır [1-7].

Linyite nazaran ısıl değeri daha düşük olan asfaltit 75 milyon ton rezerve sahiptir ve ülkemizde daha çok Güncydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunmaktadır. Kömürlere kıyasla hidrojenle daha zengin olan yüksek kükürt içerikli asfaltitlerin, doğrudan yakılması yerine piroliz yada ağır petrol kesimlerine uygulanan hidrokraking ve hidroişlem yöntemleriyle yakıt ve kimyasal hammadde gereksinimini karşılamak üzere dönüştürülerek kullanılması çok daha akılcı bir yöntemdir.

Genellikle ince taneli ve yapraklı olan ve "kerojen" adlı organik madde içeren, ısıtıldığı zaman sentetik petrol ve gaz üretilebilen tortul kayalar olan bitümlü şist ülkemizde daha çok Trakya, Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde bulunmaktadır ve 1.5 milyar ton rezerve sahiptir. Bitümlü şistlerin günümüzün teknolojik koşullarında kullanılmasında yatırım, işletmecilik, yasal durum, çevre kirlenmesi, su gibi bir çok sorunla karşılaşmaktadır. Fakat en önemlisi bitümlü şistlerin petrol ve kömürle ekonomik yönden rekabet edememesidir.

Fosil yakıtlardan petrol ve doğal gaz kaynakları potansiyel yönünden Türkiye'de yeterli düzeyde değildir. Petrol rezervlerimiz 20 milyar ton düzeyinde

olup dünya petrol rezervi içindeki payı %0.02'dir. Üretilen ham petrol, toplam petrol tüketimimizin %20'sini oluşturmaktadır. Ülkemizdeki toplam doğal gaz rezervinin $30 \cdot 10^9$ m³ olduğu tahmin edilmektedir, bu rezervin dünya rezervi içindeki payı ise %0.015'tir [7-8].

1998 yılında petrol üretimi 3.2 milyon ton olarak gerçekleştirilmiştir ve bu toplam petrol talebinin %11'ine karşılık gelmektedir. Petrol üretimi 1990 yılından beri düşmektedir. Türkiye'de ham petrolün büyük bir bölümü Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde üretilmekte olup, bir miktar üretimde Trakya bölgesinden sağlanmaktadır. Üretimin aksine, 1990-1998 yılları arasında petrol tüketiminde yıllık ortalama %3.3'lük bir artış gerçekleşmiş olup tüketim 22.7 milyon ton seviyesinden 29 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. Bu yıllar arasında petrol ithalatı yıllık ortalama %3.4 artışla 1990 yılında 20 milyon tondan 1998 yılında 26.2 milyon tona ulaşmıştır [1].

1998 yılında 10.6 milyar m³ ile toplam birincil enerji arzının %13'ünü doğal gaz oluşturmuş, toplam doğal gaz arzının %52'si elektrik santrallerinde tüketilmiştir. Hava kirliliğinin önlenmesi amacıyla doğal gaz tüketiminin konut ve hizmet sektöründe yaygınlaştırılması da hükümetçe desteklenmektedir. Ülkemizde doğal gaz üretimi; Hamitabat, Umurca, Karacaoğlan, Değirmenköy, Karaçalı, Kuzey Marmara, Silivri, Çamurlu, Barbes Derin, Hayrabolu, Gelindere ve Tekirdağ olmak üzere on bir sahadan yapılmakta olup, bu sahalardan sekiz adedi TPAO'na aittir [1].

Birincil kaynaklara göre 1990-1998 yılları arasında ülkemizin enerji üretimi Çizelge 2.5'te tüketimi ise Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Ülkemizde mevcut enerji kullanımına yönelik en önemli kaynak linyit ve hidrolik enerji olmakla birlikte petrol, taşkömürü, asfaltit, doğal gaz, jeotermal, odun, hayvan ve bitki artıkları ve güneş enerjisi gibi birincil enerji kaynakları ile elektrik enerjisi, kok, biriket gibi ikincil enerji kaynakları da üretilmekte ve tüketime sunulmaktadır [3]. Çizelge 2.7'de ülkemizin birincil enerji kaynak rezervleri görülmektedir [1].

Çizelge 2.5. Ülkemizde 1990-1998 yılları arasında birincil enerji kaynakları üretimi [1]

	1990	1995	1996	1997	1998
Taşkömürü (Bin ton)	2745	2248	2441	2513	2156
Linyit (Bin ton)	44407	52758	53888	57387	65204
Asfaltit (Bin ton)	276	67	34	29	23
Petrol (Bin ton)	3717	3516	3500	3457	3224
Doğal gaz (Milyon m ³)	212	182	206	253	565
Hidrolik (GWh)	23148	35541	40475	39816	42229
Jeoterm. Elek. (GWh)	80	86	84	83	85
Jeotermal Isı (Bin tep)	16	64	90	108	153
Güneş (Bin tep)	21	52	80	80	100
Odun (Bin ton)	17870	18374	18374	18374	18374
Hay.Bit. Art. (Bin ton)	8030	6765	6666	6575	6739
TOPLAM (BİN TEP)	25123	26255	26926	27687	28864
ARTIŞ (%)		0.9	2.6	2.8	4.3

Çizelge 2.6. Ülkemizde 1990-1998 yılları arasında birincil enerji kaynakları tüketimi [1]

	1990	1995	1996	1997	1998
Taşkömürü (Bin ton)	8191	8548	10892	12537	13146
Linyit (Bin ton)	45891	52405	54961	59474	64504
Asfaltit (Bin ton)	287	66	34	29	23
Petrol (Bin ton)	22700	27918	29604	29176	29022
Doğal gaz (Milyon m ³)	3418	6937	8114	10072	10648
Hidrolik (GWh)	23148	35541	40475	39816	42229
Jeoterm. Elek. (GWh)	80	86	84	83	85
Jeotermal Isı (Bin tep)	16	64	90	108	153
Güneş (Bin tep)	21	52	80	80	100
Odun (Bin ton)	17870	18374	18374	18374	18374
Hay.Bit. Art. (Bin ton)	8030	6765	6666	6575	6739
Net elek. İth. (GWh)	-731	-696	-73	2221	3000
İkinc. Köm.İth.(Binton)	453	1024	2281	2519	1833
TOPLAM (BİN TEP)	52632	63215	69402	73257	74249
ARTIŞ (%)		3.7	9.8	5.6	1.4

Elektrik enerjisi ithalat, 1975 yılında başlayan yıllar içinde giderek artmış 1985 yılından itibaren alınan önlemler neticesinde ithalat ihtiyacı giderek azalmış ve 1990 yılından itibaren ihraç edilmeye başlanmıştır. 1995 yılında elektrik ithalatı yapılmamış buna karşılık 696 GWh'lık ihracat yapılmıştır [4].

Ancak, 1998 yılına gelindiğinde 298 GWh'lık ihracat yapılırken 3299 GWh'lık ithalat yapılmıştır [1]. Elektrik kesintilerinin çokça yaşandığı 1980'li yıllarda daha yoğun olan enerji alanındaki yatırımların 1990'lı yıllara gelindiğinde ağırlaştırılması elektrik üretiminin azalmasına yol açmıştır.

Çizelge 2.7. Ülkemizin birincil enerji kaynak rezervleri [1]

Kaynaklar	Toplam Rezerv
Taşkömürü (MTon)	1124
Linyit (Mton)	8075*
Asfaltit (Mton)	82
Bitümler (MTon)	1641
Hidrolik(GWh/yıl)	123040
Ham Petrol(MTon)	43.7
Doğalgaz(Milyar m ³)	8.8
Nükleer kaynaklar (Ton)	
Tabi uranyum	9129
Toryum	380000
Jeotermal(MW/yıl)	
Elektrik	4500
Termal	31100
Güneş (MTEP)	
Elektrik	8.8
Isı	26.4
*:300 milyon ton belirlenmiş ve potansiyel kaynakla 8375 milyon ton olmaktadır.	

Türkiye 1998 yılında toplam 111 milyar kilowatsaat elektrik enerjisi üretmiştir, bu enerjinin iletim kaybı düşüldükten sonra 94 milyar kilowatsaatine tüketmiştir. Bulgaristan, Suriye, İran, Irak ve Orta Asya'daki komşu ülkelere toplam 3 milyar kilowatsaat elektrik satın alınırken, 300 milyon kilowatsaatte elektrik enerjisi ihraç edilmiştir. Elektrik enerjisi konusunda Türkiye'nin şu an en büyük sorunu ürettiği elektriği iletmeye yetersiz kalması, yani kayıpların azaltılamamasıdır. Bunun nedeni ise iletim hatlarının çok eski ve bakımsız olmasıdır. Dünya ülkelerindeki elektrik kaçakları %10 ila %6 arasında seyrederken ülkemizde milli servetin %30'u heba olmaktadır. Üretilen elektriğin %7'si daha barajlardan çıkmadan %17'si ise enerji nakil hatlarında kaybolmaktadır. Türkiye'nin elektrik ihtiyacını karşılayabilmesi için her yıl ortalama 3 milyar dolarlık yatırım yapması ve iletim hatlarını yenilemesi gerekmektedir [9].

2.3. Fosil Yakıt Tüketiminin Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Yeni bir yüzyıla girerken karşılaşılan sorunlardan ilki ölçek sorunudur. Dünya nüfusu geçen yüzyıla oranla dört kat artmış, dünya ekonomisi de on yedi kat büyümüştür. Bu büyüme bir yandan yaşam standartlarında büyük gelişmelere

yol açarken öte yandan da doğal sistemlere çok büyük zarar vermiştir. Örneğin okyanuslardaki balık yatakları yok olma aşamasına gelmiş, tüm kıtalarda su kaynakları azalmış, aşırı otlatma nedeniyle meralar bozulmuş, kalan son tropik ormanlar yok olmaya yüz tutmuş ve atmosferdeki karbondioksit oranı son 160.000 yılın rekor düzeyine ulaşmıştır.

Dünya nüfusundaki artışa paralel olarak fosil yakıt tüketiminde artmıştır ve dünya şu andaki fosil yakıt uygulamasını izlemeye devam ederse atmosferdeki karbondioksit yoğunluğunun 2050 yılında sanayileşme dönemi öncesinin iki katına çıkacağı ve 2100 yılında dünyadaki ortalama sıcaklığı 1-3.5⁰C (2-6 ⁰F) arttıracığı tahmin edilmektedir. Bu gerçekleşirse korkunç fırtına ve sellerin oluşması, buzulların crimesi ve deniz seviyesinin yükselmesi gibi aşırı iklim olaylarının patlak vermesi beklenmektedir. İngiltere'deki Hadley İklim Değişimi Merkezi bilim adamları 2050 yılından sonra Amazon ve Güney Avrupa gibi alanları çöle çevirecek engellenemez bir sera etkisinin meydana gelebileceğini belirtmektedir .

1991 yılı başlarındaki Körfez Savaşı dünya enerji sisteminde yeni bir dönemin başlangıcı olmuştur. Kuveyt'teki petrol kuyularının yanmasıyla yangının yoğun olduğu devrelerde günde altı milyon varil petrol yanmış ve çevrenin, ABD'deki bütün elektrik santralleri ve sanayi tesislerinin kirlettiğinden on misli daha fazla kirlenmesine yol açtığı gibi körfez savaşının bir askeri ve enerji krizinden ekolojik bir faciaya dönüşmesi, son on senede meydana gelmiş olayların bir sembolü olarak kabul edilebilir. Doksanlı yılların başından itibaren enerji piyasaları petrol ekonomisinden ve politikalarından çok, çevresel sorunlardan etkilenmeye başlamıştır [10].

Fosil yakıtların kullanılmasının insan sağlığı ve doğal çevreye verdiği zarar yeni farkına varılan bir gerçek değildir. 1306 yılında İngiltere Kralı I. Edward, şehri boğmakta olan hava kirliliğini azaltmak için Londra'da kömür yakılmasını yasaklamıştır. Yetmişli ve seksenli yıllarda sanayileşmiş ülkelerin hemen hepsi ve gelişmekte olan ülkelerin bir kısmı hava niteliği standartları ve emisyon kısıtlamalarını getirmişlerdir. Bu konuda önceleri Japonya ve Kaliforniya başı çekerken, Avrupa onları izlemiş ancak seksenli yıllardaki asit yağmuru krizini takiben hem ulusal hem de Avrupa Birliği çapında çok sert emisyon yasaları

gündeme gelmiştir. İlk çıkartılan yasalar hidrokarbonlar, karbonmonoksit ve partiküller gibi herkesin bildiği kirletici maddeleri hedef almıştır. Otomobil motorlarındaki basit bazı değişiklikler, egzozlara takılan katalitik konvertörler, külleri toplamak amacıyla elektrik santrallerinin bacalarına monte edilen elektrostatik çökelticiler bu yasaların ilk meyveleri olmuştur. Son zamanlarda ise yeni elektrik santrallerine uçucu gazların içindeki kükürdü tutabilmek için desülfürizasyon üniteleri ilavesi çevrenin geniş ölçekli tahribinin etkilerini azaltacak önlemler olarak bilinmektedir.

Çevresel faktörler, özel ve kamu sektörünün yapabileceği enerji yatırımlarını kısıtlamaya başlamıştır. En basit şekliyle elde alındığında uygulamaya sokulan çevre koruma önlemleri ne kadar katı olursa, enerji yatırımları o kadar pahalıya mal olmaktadır. Çevre koruma ile ilgili önlemlerden dolayı bir çok nükleer ve hidroelektrik santralin yapımı durdurulmuştur.

İnsanlığın hem bu günü hem de geleceği için vazgeçilmez iki faktör olan çevre ve enerjinin birbiriyle çelişmesi, enerji üretimi ve tüketimi arttıkça çevre kirliliğinin de artması her iki konunun da birlikte ele alınıp sorunların çözümünün aranmasını zorunlu kılmaktadır.

Enerji elde edilirken çevreye bırakılan atıklar doğada birikmektedir ve bu atıkları dengelemek için doğal işleyiş yeterli olmamaktadır. Ülkemizde elektrik enerjisi eldesinde önemli bir yeri olan termik santrallerin emisyonları içinde bitki örtüsünü en çok etkileyen gazlar, kükürtdioksit ve azot oksitlerdir. SO_2 ve NO_x 'lere en hassas olan ve etkilenen bitki organı, yapraklardır. Stomalar vasıtasıyla bünyeye giren SO_2 ve HF gibi asit etkili kirleticiler yaprak dokusunun zarar görmesine neden olmaktadır. Ayrıca yanık etkisi serbest asit halinde yüzeysel olarak ortaya çıkabilmektedir. Yanıkların derecesine bağlı olarak fotosentez ve transpirasyon gerilemektedir. Bitkiler üzerinde kirletici etkisi ile ortaya çıkan zehirlenme akut, kronik ve gizli zararlanma olmak üzere üç ayrı boyutta görülebilmektedir. Akut zararlanmaya uğrayan bitkiler derhal ölmekte, kronik zararlanma öldürücü olmamakla birlikte bitki kalitesini büyük oranda bozmakta ve görünmeyen gizli zarar ise zaman içinde ortaya çıkmaktadır [10].

SO_2 'nin bitkilere olan bu doğrudan etkisinden başka yöredeki yağışların ve bağıl nemin fazlalığı da topraktaki asitleşmeyi arttırıcı, bazlarda fakirleştirici ve

mikrobiyolojik aktiviteyi yok edici bir etkide bulunarak dolaylı olarak bitkilerin direncinin azalmasına neden olur ki bu direnç zayıflığı da zararlı böcek ve mantarların üremesi için gerekli ortamı oluşturmaktadır.

SO₂'nin yapraklardan sonra en etkili olduğu yer, bitki besinlerinin taşındığı iletim sistemidir. Bu şekilde SO₂'nin etkisi bitkinin diğer kısımlarına yayılır, bitki terleme olayını kontrol edemez ve su dengesi bozulur, bitkide solgunluk ve kurumalar görülür ki bu durum bitkideki fotosentez olayını bozar. Ayrıca polen tozları ve dişicik tepesi gazdan zarar gördüğünden dölllenme olmaz ve meyve tutmaz. Meyvelerdeki belirtiler SO₂'ye bir yıl maruz kaldıktan sonra belirginleşir. Bitkilerdeki SO₂ ve NO_x zararları yaprak lekeleri, yaprak kurumaları, yaprak ve meyve dökülmeleri, büyümedeki gerileme, solgunluk ve ölümle sonuçlanır.

Bitki örtüsünü etkileyen asit yağmurları ise SO₂'nin havada gerçekleştirdiği birtakım reaksiyonlar sonucunda olur ve sonuçta sülfürik asit meydana gelir. Bu konuda ülkemiz için en çarpıcı örnek Muğla-Yatağan termik santrali çevresinde yaşanmıştır. 20 Kasım 1982'de ilk ünitesi devreye giren bu santralin ikinci ünitesinin 1983'de devreye girmesinden iki ay sonra çevre ormanlarında sararmalar başlamıştır. Üçüncü ünitenin 1984'de devreye girmesinden sonra 1986 yılı ortalarına kadar 4181 ha orman sahası kuruduğu için kesim yapılmıştır. Termik santralin olumsuz etkileriyle 4181 ha gibi çok geniş bir alanda ekosistem bozulmuş ; yani orman altı bitki ve hayvan türlerinin çoğu yok olmuştur. Ayrıca toprağı tutacak bitki örtüsü büyük oranda tahrip olduğu için erozyon ile toprak kaybı olmuş, eski kaynaklar kurumuştur. Etki tarım alanlarında da görülmüş zeytin ve pamuk ürünleri önemli kayıplar vermiştir [10].

Termik santraller çevresindeki topraklar aşağıdaki şekillerde kirlenmektedir:

- Baca gazlarındaki kükürtdioksitin asit yağmuru şeklinde toprağına geçmesi ve toprağın kimyasal yapısının zamanla değişmesi,
- Baca küllerinin toprak yüzeyine çökmesi ve toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısının zamanla değişmesi,
- Termik santrallerin oluşturduğu kükürtdioksit ve buna bağlı asit yağışlar sonucu ormanları kurutması ve bu alanlardaki su erozyonunu hızlandırması,
- Radyoaktif maddeler içeren kömür kullanan termik santrallerde, baca külleri ile radyoaktif maddelerin ve ağır metallerin toprağına karışması.

Termik santrallerin deniz ortamına etkisi ise sıvı atıklarla ve hava kirliliği sonucunda SO₂'nin asit yağışına dönüşmesiyle (doğrudan veya yeraltı ve yerüstü sularının denize ulaşmasıyla) veya denizde asitleşmenin meydana gelmesiyle olmaktadır. Bu kirlenmeler deniz ekosisteminde meydana gelebilecek bozulma sonucunda su ürünlerinin, balıkçılık ve süngerliliğin olumsuz etkilenmesine ve üretimde düşüşe neden olacaktır.

Termik santrallerin çevreye olan etkilerinin ve zararlarının büyüklüğü tartışma götürmez ancak santrali kirletici atıklarının istenilen limitlerde tutulabilmesini sağlayan arıtma tesis ve teknolojileri mevcuttur.

Fosil yakıtların yanması sonucunda karbondioksit, karbonmonoksit, kükürtdioksit, azotoksitler, uçucu organik bileşikler, radyoaktif maddelerle tanesal maddeler açığa çıkmaktadır. Binalarda, sanayide ve termik santrallerde yakıt olarak kömür kullanıldığında bilinen kirlilik elementlerinin yanısıra külde açığa çıkar. Bu kül kadmiyum, civa, kurşun ve arsenik gibi ağır metalleri içerdiğinden yüksek oranda kirletici etkiye sahiptir.

Karbonlu yakıtların yanmasıyla oluşan bileşiklerin insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Bunlardan birisi olan azot oksitler teneffüs edildiğinde akciğerlerde aside dönüşerek tahriş yapar, bronşları doldurur, akciğerlerin havadan oksijen alma yeteneğini yitirmesine ve böylece kana daha az oksijen geçmesine yol açabilir. Hasta sonu genellikle ölüm olan kronik nefes darlığı ve emfizema gibi hastalıklara yakalanabilir. Atmosferdeki azot oksit miktarının artması bitkilerinde dirençlerini yitirmesine de yol açmaktadır. Kükürdioksit formunda yayılan kükürt ise solunum yollarına zarar verir. Atmosferde birikip SO₃ şeklinde oksitlenen kükürt, yağmur suyu ile birleşerek sülfürik asidi oluşturur. Yaprakları yakan, topraktaki mineralleri çözen bu asit bitkilere zarar verdiği için bitkiler zararlı mineralleri filtre edemez hale gelir, toprak bol miktar ve çeşitte ürün yetiştirilemeyecek kadar asitleşir. Benzinin yanmasıyla oluşan bir diğer zararlı maddede, solunum yolları ve gözleri tahriş eden fazla solunduğunda teneffüsü zorlaştıran bir yanma hissi veren peroksiasilnitratdır (PAN)dır. Eksozdan çıkan bir başka kirletici, özellikle çocuklarda satürnizm hastalığına yol açan kurşundur [11].

Atmosferde normal olarak bulunan sera gazları(CO_2 , NO_x , CH_4) güneş ışınlarından gelen enerjinin tutulmasını sağlar. Bu durum atmosferin ortalama sıcaklığını dengede tutar. Sera gazlarının artmasının var olan dengeyi bozup küresel ısınmaya yol açacak iklimsel değişiklikler ortaya çıkaracağı sanılmaktadır. Sera etkisini oluşturan etmenlerin %46'sını enerji temini oluşturmaktadır. Sera gazlarından karbondioksit, %55'lik bir oranla doğal sıcaklık dengelerinin bozulmasında en büyük etkiyi yapmaktadır. Karbondioksiti fotosentez yapmak için doğal olarak kullanabilen bitkiler, diğer çevresel bozulmalarında etkisiyle hızla azalırken, atmosferdeki karbondioksit miktarı da hızla artmaktadır.

Endüstriyel devrimden beri CO_2 derişimindeki artış eğilimi diğer sera gazlarında da olduğu gibi çok güçlüdür. CO_2 emisyonları, termik santrallerde kömür, motorlu taşıtlarda petrol, evlerin ısıtılmasında doğalgaz kullanıldığında ortama verilmektedir. Bu nedenle enerji temini ve ulaşım için konvansiyonel yöntemler kullanılmaya devam ettiği süreçte artış eğilimi devam edecektir. Orman ve çayır ekosistemlerindeki ^{habitat} tahripleri nedeniyle yeryüzündeki vejetasyonun özümlediği C miktarının azalması, orman ve anız yangınları ekosferdeki C döngüsünü etkileyebilecek düzeydedir. Bu nedenle CO_2 'in etkisi göreceli olarak artma eğilimindedir.

En önemli atmosferik karbon değişimlerinden biri, atmosfer ile biyosfer arasında olmaktadır. Biyosfer, fotosentez yoluyla atmosferdeki CO_2 'den karbonu almaktadır. Bitkilerin çürümeleri esnasında CO_2 atmosfere tekrar verilmektedir. Bu karbon akışları, ancak toplam biyomas miktarı değişmediği zaman sabit kalmaktadır. Tropik ormanlar yakıldığı zaman biyomas miktarı azalır ve buna tekabül eden karbon CO_2 'ye dönüşerek atmosferdeki konsantrasyonun artmasına sebep olur.

Geçen yüzyıl boyunca CO_2 emisyonlarında olduğu gibi insan kaynaklı CH_4 emisyonlarında doğal emisyonlarına nazaran iki kat artarak atmosferdeki CH_4 konsantrasyonunun çok fazla yükselmesine neden olmuştur. Başlıca insan kaynaklı CH_4 emisyonları; özellikle pirinç tarlaları, ruminant olarak tanımlanan geviş getiren hayvanların sindirim sisteminde olan fermantasyon ve biyomas yakılması gibi tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Çöp toplama alanları da önemli miktarda CH_4 emisyonuna yol açmaktadır. İnsan kaynaklı CH_4

emisyollarının %30'una da özellikle doğal gaz gibi fosil yakıtların kullanımı yol açmaktadır. Doğal gaz %90 oranında CH₄ içermektedir, bu nedenle de bir doğal gaz boru hattındaki sızıntılardan atmosfere doğrudan doğruya CH₄ karışabilmektedir. Kömür madenciliği de CH₄ emisyonuna neden olur, çünkü her kömür madeninde doğal gaz bulunmaktadır. CH₄ petrol üretimi sırasında da atmosfere yayılmaktadır.

İnsan faaliyetleri sonucunda atmosferde biriken en önemli sera gazı olan CO₂ fosil yakıt kullanımıyla artmıştır, 1996 yılında rekor düzeye çıkan küresel karbon emisyonları 6.22 milyar tona yükselmiştir, bu oran 1950 oranının yaklaşık dört katıdır. Atmosferdeki CO₂ yoğunluğu endüstri öncesi dönemden %29 daha yüksektir ve son 160000 yıl içinde bilinen en yüksek orandır. Bu yüksek oran doğal hayat ve insan toplumunun geleceği için önemli bir tehlikedir. Her yıl atmosferde yerleşip gezegenin zamanla ısınmasına yol açan bir sera gazı olan karbondioksit halinde yaklaşık 6 milyar ton karbon havaya saçılmaktadır.

Sera etkisinin ekoloji üzerine etkilerini kısaca özetlemek gerekirse,

Bu güne kadar gözlenmiş olan küresel değişimler:

- Geçen 100 yıl süresince, sıcaklıkta 0.5⁰C'lik bir artma,
- Deniz seviyesinde bu yüzyılın başından beri 20 cm'lik bir artma,
- Stratosfer sıcaklığında azalma,
- Orta enlemlerdeki yağış miktarında artma ve substropik enlemlerdeki yağış miktarında azalma,
- Geçen on yıl süresince küresel ısınmada önemli ölçüde bir artışın olmasıdır.

2100 yılına kadar beklenen küresel değişimler ise :

- Sıcaklıkta 3⁰C'lik bir artma,
- Deniz seviyesinde 70 cm'lik (30-110 cm) bir yükselme,
- Orta ve daha yüksek enlemlerde yer alan ormanların büyük miktarlarda ölümleri,
- Tarımsal alanlarda ve dünya gıda üretiminde azalmadır [10].

2100 yılına kadar deniz seviyesinde olası 70 cm'lik yükselme ile bir çok kıyı bölgesinin okyanus suları altında kalması ve kıyılara yakın bir çok tarım alanı ile doğal habitatın yok olacağı tahmin edilmektedir. Böylece toplam tarım alanı miktarı azalarak, insanlığın daha kötü beslenmesine yol açacaktır.

Küresel ısınmanın etkileyeceği yağış rejimlerindeki değişim ile orta enlemlerin karasal bölgeleri, muhtemelen yazları daha kurak olacaktır. Bu yağış rejimi değişimleri tarımla ilgili bir çok probleme sebep olacaktır.

Gelecekte küresel ısınmanın en kötü etkisi, iklim kuşaklarının bitki örtüsü kuşaklarınca takip edilememesinden kaynaklanacaktır. Bitki örtüsü kuşakları, iklim kuşaklarını ancak bir yüzyıl içindeki ısınma oranı 1°C 'yi aşmadığı hallerde takip edebilirken, buradaki ısınma oranı bir yüzyıl içinde 3°C olacaktır. Özellikle orta ve daha yüksek enlemler, iklim kuşaklarının bu şekilde hızlı kaymalarından dolayı tehlike altındadır. Orman kuşaklarının kayması, ağaç tohumlarının rüzgarlar yada böcekler tarafından taşınabilme uzaklığı ile sınırlanmıştır. Birçok büyük ağaçların özellikle çamların ilk tohumlarının olgunlaşabilmeleri için elli yıla ihtiyaç vardır, eğer iklim bu elli yıl süresince çok fazla değişirse ağaçlar buna uyum sağlayamayarak öleceklerdir. Böylece orta ve daha yüksek enlemlerdeki orman kuşakları bozkırlar haline dönüşecektir. Ormanların çürümesi esnasında fazla miktarda CO_2 yayıldığından bu olay sera etkisinde ilave bir artışa sebep olacaktır.

Sera etkisiyle tarımsal faaliyetlerde tehlike altına girmektedir. Çünkü her bölgede, çiftçiler tarafından yetiştirilen ürünler kısa bir sürede değiştirilmek zorunda kalacaktır, bu çok pahalı bir işlem olup gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Bu nedenle dünyanın her yanında toprağın yapısının bozulması ve stratosferdeki ozon tabakasının parçalanması ile tehdit edilen yeryüzündeki gıda güvenliği daha da tehlike altına girmektedir.

Dünya enerji ihtiyacının %90'ını (%41 petrol, %27 kömür, %22 doğal gaz) sağlayan fosil yakıtların kullanımında en az yirmi yıllık bir dönem için fazla bir değişme beklenmemektedir. Temiz enerji üretimi için fosil yakıtlarla ilgili aşağıda sıralanan iyileştirmeler kullanılabilir:

-Fosil kaynaklarda gelişme: Ham petrolün arıtımında kullanılan ayırma ve dönüşüm prosesleri enerji yoğun proseslerdir. Bu esnada hem düşük moleküllü hidrokarbonların yanması sonucu CO_2 oluşmaktadır, hem de açığa çıkan gaz halindeki hidrokarbon emisyonları sera gazları kapsamındadır. Bu alanda beklenen çözümler katalizörlerdeki iyileştirmeler, membran vb. ileri ayırma

prosesleri ve daha uygun ön arıtım prosesleri geliştirilmesi, daha gelişmiş sensörlerin kullanılması ve rafineri proses optimizasyonudur.

Doğal gaz daha düşük C/H oranından dolayı petrol ve kömüre nazaran daha az karbon emisyonuna yol açmaktadır. Kısa dönemde doğal gaz üretiminin artırılması ve bunu sağlayacak uygulama pratiği ile ilgili arımsal yenilikler çözüm olabilir. Orta dönemde doğal gazın, boru hatları ile taşınabilecek, yüksek kalitede sıvı yakıtı dönüştürülmesi önerilmektedir. Uzun dönemde ise, denizlerin dibindeki metan hidrat (metan ve suyun fiziksel bileşimi) kaynaklarının belirlenmesi, rezerv tespiti ve bunların çıkartılması için tamamen yeni bir teknoloji geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Denizlerdeki hidrat rezervlerinden metan elde edilmesi konusundaki teknoloji henüz mevcut değildir.

-Kömüre dayalı yüksek verimli teknolojiler: Bu alanda uzun dönem için önerilen teknolojilerin en önemlisi "İntegrated Gasification Combined Cycle-IGCC" sistemleridir. IGCC prosesinde kömür, petrol koku, biyokütle veya kentsel atıklar bir gazlaştırıcıda "sentez gazı"na (CO_2 ve hidrojen karışımı) dönüştürülmektedir. Sentez gazı önce partikül, kükürt ve diğer kirleticilerden temizlendikten sonra, yüksek verimli gaz türbinlerinde yakılmaktadır. Türbinlerden çıkan yanma gazlarının ısısı ile üretilen buhar, buhar türbinlerinde kullanılmaktadır. Elde edilen temiz sentez gazı istenirse, uygulanacak katalitik proseslerle ulaştırmada kullanılacak üstün kalitede yakıtlara, hidrojene veya değerli kimyasallara da dönüştürülebilir. IGCC sistemleri için demonstrasyon projeleri tüm dünyada yürütülmektedir. Ancak maliyetlerin büyük ölçüde düşürülmesine ve önemli teknolojik gelişmelere ihtiyaç vardır. Bunlar arasında ısı değıştiriciler, türbinler, filtreler ve SO_x gidericilerde kullanılmak üzere yüksek sıcaklık altında korozyona, aşınmaya, yorulmaya dayanıklı malzemelerin türbin-ısı değıştirici çevriminde kullanılacak akışkanların bulunması ve geliştirilmesi sayılabilir.

-Düşük karbonlu yakıtlar: Doğal gaz, sentez gazı gibi düşük karbonlu yakıtların kullanılması, 2020 yılından sonra emisyonların düşürülmesinde önemli bir potansiyel yaratacaktır. Bu bağlamda, yakıt hücreleri ve gaz türbinleri kullanılmaya başlamıştır. Ancak bunların beklenen potansiyele ulaşabilmeleri için, maliyetlerin düşürülmesine ve önemli teknolojik iyileştirmelere gerek duyulmaktadır. Emisyonların düşürülmesi amacıyla karbonsuz bir yakıt olan

hidrojenin kullanılmasında beklenen performansa ulaşılabilmesi içinde teknolojik gelişmeler gerekmektedir. Diğer bir gaz yakıt teknolojisi olan yakıt hücrelerindeki son gelişmeler, daha büyük üretim kapasitelerine sahip hücrelerin yapılabilmesini mümkün kılmaktadır, fakat maliyetlerin düşürülmesi konusu hala bir sorundur. Pazara girmeye hazır olan yakıt hücresi sistemlerinde verimlilik %50'nin üzerindedir. Ancak 2010 yılı itibariyle gerçekleşmesi beklenen, yakıt hücresi/ileri gaz türbini hibrid sistemlerin geliştirilmesi ve sentez gazının yakıt olarak kullanılması adaptasyonu ile verim %70'e ulaşacaktır. Sadece hidrojen kullanan ileri gaz türbinlerinin demonstrasyon aşamasına gelmesinin 2020 yılından sonra olacağı tahmin edilmektedir.

-“Energyplex”: Yakıt, enerji ve kimyasalların üretiminin aynı anda tek bir birimde gerçekleştirilmesi nihai hedefdir. “Energyplex” olarak isimlendirilen böyle bir sistem hem çok yüksek verimde çalışacak hem de “sıfır karbon emisyonu” beklentisine cevap verecektir. Energyplex, seri halde bağlanmış modüler yapıları içerecektir. Kömür, biyokütle, kentsel katı atıklar gibi bulunduğu bölgede mevcut yakıtlarla beslenebilecek bu modüllerde, enerji ve yakıt veya kimyasal üretimi entegre bir şekilde gerçekleşecektir. Energyplex'e eklenecek karbondioksiti ayıran ve tecrit eden modüller sayesinde, sistemin bütünü “sıfır karbon emisyon”lu olacaktır. Bu sistem tamamıyla geleceğe yönelik, uzun dönemli bir tasarıdır ve gerçekleşmesi için büyük teknolojik atılımlar (yeni endüstriyel proses tasarımları, yeni enerji çevrimleri, karbon ve karbondioksitin uygun ve verimli koşullarda depolanması ve tekrar kullanılması gibi) gerekmektedir.

Birincil enerji dönüşümü ve enerji tüketimindeki verimliliğin artırılması ve düşük karbonlu yada karbon ihtiva etmeyen enerji kaynaklarının kullanılması için gösterilen çabalara ilaveten, atmosferdeki CO₂'in tutulması ve tecridi (carbon sequestration) konusunda da teknolojilerin ve mekanizmaların geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Karbon tecridi ile ilgili çalışmalar altı ana başlık altında toplanabilir:

-CO₂'in ayrılması ve tutulması: CO₂'in ayrılması ve depolanması ve dekarbonizasyon stratejileri alanındaki ar-ge faaliyetleri, gazların ayrılması konusundaki araştırmaları, dekarbonizasyon prosesleri için katalizörler, membranlar, moleküler elekler ve biyolojik teknikler üzerindeki çalışmaları ve

korozyona dayanıklı malzeme geliştirilmesini kapsar. CO₂'in okyanuslarda, gaz ve petrol yataklarından tecridinin çevresel etkilerinin araştırılması da bu kapsamdadır.

-Karbonun okyanuslarda tecridi: Okyanuslar, karbonun tecridi için büyük bir potansiyele haizdir. Besin bakımından fakir olan okyanus diplerinin demir ve azot ile zenginleştirilmesi yoluyla, CO₂'in okyanuslarda tutulması imkanının yaratılacağı düşünülmektedir. Okyanus diplerinde karbonun bu şekilde depolanmasının planktonların büyümesini de hızlandıracağı tahmin edilmektedir. Okyanus diplerine enjekte edilecek CO₂'in gaz hidratlar halinde tutulması da, karbonun tecridi için kararlı bir mekanizma oluşturabilir. Bu potansiyelin kullanılabilmesi için, performans değerlendirmeleri yapılması, okyanus derinlikleri ile ilgili bilimsel ve mühendislik araştırmaların yürütülmesi ve üç boyutlu kontrol teknolojilerinin geliştirilmesi alanlarında ar-ge çalışmalarına ihtiyaç vardır.

-Karbonun karasal ekosistemde (toprak ve bitki örtüsü) tecridi: Karasal ekosistem havadaki CO₂'in tutulması için büyük bir potansiyel vaat etmektedir. Bu alanda kaydedilecek gelişmeler, aynı zamanda tarımdaki üretkenliğinde artırılması imkanını yaratacaktır. Bu konudaki ar-ge faaliyetleri arasında, ekosistemin yapısı ve işlevlerini daha iyi anlamaya yönelik araştırmalar, topraktaki karbon çevrimi konusundaki temel araştırmalar, karbonun toprakta depolanmasını artırıcı mekanizmaların geliştirilmesi konusundaki çalışmalar ve bitki ve mikroorganizmalarla ilgili biyoteknoloji çalışmaları sayılabilir.

-CO₂'in jeolojik formasyonlarda tutulması: Bu konuda da çalışmaların ve ar-ge faaliyetlerinin yoğunlaştırılmasına ihtiyaç vardır.

-Karbon tecridi için ileri biyolojik prosesler: Ayrılan CO₂'in ileri biyolojik prosesler yardımıyla sıvı yakıtlara, hidrojen yakıtı yada organik bileşiklere dönüştürülmesi, karbonun kalıcı bir şekilde tecridi ve geri kazanılmasını hedeflemektedir. Bu alandaki çalışmaların, karbonun karasal ekosistemde ve jeolojik formasyonlarda tutulması ve değerlendirilmesi çalışmaları ile entegre bir şekilde ele alınmasına gerek vardır.

-Karbon tecridi için ileri kimyasal prosesler: Fosil yakıtlardan ve karbonlu bileşimlerden elementel karbon ve hidrojen üretilmesi bilinen bir teknolojidir. Bu

proseslerden elde edilen elementel karbon çeşitli kimyasalların eldesinde de kullanılabilir. CO₂'in mineral karbonatlar halinde tutulması veya güneş enerjisi kullanılarak doğrudan metanole dönüştürülmesi teknolojileri ve kömürün hidrojene dönüştürülmesi ile ilgili ileri teknolojiler bu gruba girmektedir. Örneğin, metanın karbon siyahı elde etmek üzere termal olarak ayrıştırılması konvansiyonel bir teknolojidir. Katalitik akışkan yatak ve plazma prosesleri ile metandan hidrojen elde edilmesi teknolojileri konusunda pilot çalışmalar sürdürülmektedir. Ancak bu proseslerin verimleri oldukça düşüktür ve hidrojenin sürekli olarak bu yolla üretilmesi için en azından %70 verim sağlayacak reaktörlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının geri yansımaları önleyerek veya geciktirerek atmosferdeki sıcaklığın artmasına dolayısıyla iklim değişikliğine neden olan ve insan aktivitelerinden kaynaklanan sera gazlarının azaltılması amacıyla 1992 yılında "İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi" imzaya açılmıştır. Sözleşme, sera gazlarının atmosferdeki konsantrasyonlarının artmasında gelişmiş ülkelerin sorumluluk paylarının gelişmekte olan ülkelere göre daha fazla olmasını dikkate alarak "ortak fakat farklı sorumluluklar" prensibini benimsemiş olup, gelişmiş ülkelere ilave yükümlülükler getirmektedir. Daha sonra 1997 yılında sözleşme çerçevesinde Kyoto Protokolü hazırlanmış olup, ülkelerin imzasına açılmıştır. Bu protokol ile 2008-2012 yılları arasındaki dönem için, emisyonların 1990 yılı seviyelerine göre en az %5 azaltılması yükümlülüğü getirilmiştir [12].

Fosil yakıtlarda yapılacak tüm bu iyileştirme çalışmalarının yanı sıra artan enerji gereksinimi ve ortaya çıkan çevre sorunları araştırmacıları yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını bulmaya ve bu kaynaklar üzerinde çalışmalar yapmaya yöneltmiştir.

2.4. Alternatif Enerji Kaynakları

Dünyada bilimin, mühendisliğin ve devletlerin önde gelen iki amacı, kişi başına enerji tüketiminin artması ve gelecek için yeni enerji kaynaklarının araştırılmasıdır.

Birincil enerji kaynakları olarak nitelendirilen petrol, kömür ve doğal gaz kaynaklarının sürekli olarak azalması ve ayrıca enerji üretimi için kullanımları sırasında karşılaşılan ekolojik ve klimatolojik denge bozulmalarından ötürü yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır.

1990'lı yıllarda kömür kullanımı yılda %1.2, petrol tüketimi de yılda %1.4 artarken, güneş enerjisi ünitelerinin kullanımı yıllık %17, rüzgar enerjisi üretimi yıllık %26 artış göstermiştir. Çizelge 2.8'de 1990-1997 yılları arasında enerji kullanım eğilimleri verilmiştir [13].

Çizelge 2.8. Enerji kullanım eğilimleri, kaynaklara göre, 1990-1997¹ [13]

Enerji Kaynağı	Yıllık ortalama büyüme oranı (%)
Rüzgar gücü	25.7
Foto-galvanik güneş enerjisi	16.8
Jeotermal güç ²	3.0
Doğal gaz	2.1
Hidroelektrik güç ²	1.6
Petrol	1.4
Kömür	1.2
Nükleer güç	0.6

¹: Enerji kullanımı rüzgar, jeotermal, su ve nükleer gücün üretim kapasitesiyle ölçülmüştür ; petrol, doğalgaz ve kömür, bir milyon ton petrole ölçülmüştür ; güneş enerjisi ünitelerinin gücü megavatla ölçülmüştür.

²: Yalnızca 1990-96 arası

Rüzgar ve diğer güneş enerjisi kaynaklarından üretilen elektriğin maliyeti düştükçe, suyu elektroliz edip hidrojen üretmek daha ekonomik olacaktır. Böylece hidrojen, yenilenebilir enerjiyi hem depolamada hem de bir yerden başka bir yere taşımada kullanılacaktır. Yakıt hücresi adı verilen bir araç, otomobillerde ev yada işyerlerindeki küçük güç istasyonlarında, hidrojeni başarıyla yeniden elektrik haline getirebilmekte, pek çok büyük firma yakıt hücrelerine yatırım yapmakta ve hidrojen konusuyla ilgili çalışmalarını sürdürmektedir. Gelecek yüzyılın ortalarında Moğolistan düzlüklerinden üretilen rüzgar gücü kaynaklı elektrik yada Arizona çöllerinde sağlanan güneş enerjisi kaynaklı elektrik, boru hatlarıyla uzak kentlere taşınabilecektir [13].

2.4.1. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi yeni ve yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşu yanında, insanlık için önemli bir sorun olan çevreyi kirletici artıkların bulunmaması, yerel olarak uygulanabilmesi ve karmaşık bir teknoloji gerektirmemesi gibi üstünlükleri sebebiyle son yıllarda üzerinde yoğun çalışmalar yapıldığı bir kaynak olmuştur. Binaların ısıtılması, soğutulması, endüstriyel, bitkilerin kurutulması ve elektrik üretimi güneş enerjisinin yaygın olarak kullanıldığı alanlardır.

Güneşin ışınım enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen başlıca enerji kaynağıdır. Dünyadan ortalama $1.496 \cdot 10^8$ km uzaklıkta, $1.392 \cdot 10^8$ km çapında ve $1.99 \cdot 10^{30}$ kg kütlede sıcak bir gaz küresi olan güneşin yüzey sıcaklığı yaklaşık 6000 K olup, iç bölgesindeki sıcaklığın $8 \cdot 10^6$ K ile $40 \cdot 10^6$ K arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Sürekli bir füzyon reaktörü olan güneşin enerji kaynağı, hidrojenin helyuma dönüşmesi esnasında, saniyede 4 milyon ton kütle enerjiye dönüşerek, yaklaşık $3.5 \cdot 10^{26}$ değerindeki enerjinin ışınım şeklinde uzaya yayılmasıdır. Güneş daha milyonlarca yıl ışınmasını sürdüreceğinden, dünyamız için sonsuz bir enerji kaynağıdır. Güneşten gelen güç insanlığın yıllık ticari gereksiniminin 16000 katından çoktur. Dünyadaki tüm elektrik santrallerinin toplam gücü, güneşten gelen gücün 61000'de birinden azdır. Güneşten gelen güç dünyadaki tüm nükleer santrallerin ürettiği toplam gücün 527000 katıdır.

Güneş ışınlarının büyük miktarda varlığı yanında, diğer enerji kaynaklarıyla kıyaslandığında coğrafi dağılımı da çok daha geniş alanlara yayılmaktadır. Bundan bir süre sonra insanlar, kullandıkları suyun ısıtılmasında büyük ölçüde güneş enerjisinden yararlanabileceklerdir. Yeni inşa edilecek binalarda doğal ısıtma ve soğutma yöntemlerinden yararlanarak enerji kullanımlarını %80'i aşan bir oranda azaltabileceklerdir. Başlıca güneş enerjisi sistemleri ve kullanımları Çizelge 2.9'de verilmiştir.

Pasif güneş sistemleri, güneş enerjisi kullanımı için geliştirilen en eski sistemlerden biridir, binaların kışın ısıtılmasında, yazın ise ısınmayı önleyecek koşulların sağlanmasında, seraların ısıtılmasında, zirai ürünlerin kurutulmasında kullanılmaktadır. Pasif güneş tekniklerinin başlıcaları şunlardır :

Çizelge 2.9 Güneş enerjisi sistemleri

Termodinamik Sistemler		Fotovoltaik Sistemler
Pasif güneş sistemleri	Aktif güneş sistemleri	
Direk toplama	Termal stasyonel(durağan) sistemler	
Termal depolama duvarı	Termal güneş tarayıcı sistemler	
Güneş uzayı(sun space)		

-Direk toplayıcı: Bu sistemlerde, güneş enerjisi kuzey yarımküre için, güneşe bakan yönde düşey bir pencere yardımıyla toplanır. Gün boyunca gelen güneş enerjisi gece kullanılmak üzere taban, tavan ve duvarlar gibi bina elemanları tarafından emilir.

-Termal depolama duvarları: Bu sistemlerde güneşe bakan bir pencerenin arkasında, ısı kolektörü vazifesini gören bir duvar vardır. Sistemin avantajı, içerisini ekstrem şartlardan izole etmesi, duvar arkasındaki odanın sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi, istenmeyen veya malzemelere zarar verebilecek ışıktan da korunmasıdır. Bu duvarlar özellikle, güneşli fakat soğuk kışların görüldüğü iklim kuşakları için çok uygundur.

-Güneş uzayı: Bu sistem direk toplayıcı ve termal depolama duvarı sistemlerinin bir kombinasyonu gibidir, pencere ile güney yönündeki duvar arasında bir sera oluşturulmuş şeklindedir.

Aktif güneş sistemleri ısıtma, soğutma ve elektrik üretimi gibi amaçlarla kullanılabilirler, termal stasyonel sistemler ve güneş tarayıcı sistemler olarak ikiye ayrılırlar. Termal stasyonel sistemlerde güneş enerjisi stasyonel bir toplayıcı ile toplanır, daha sonra ısıya dönüştürülerek bir akışkana transfer edilir. Bu sistemlerde düz plakalı kolektörler, boru şeklindeki kolektörler, concentrating kolektörler ve güneş havuzları tiplerinde toplayıcılar kullanılmaktadır.

Fotovoltaik sistemlerde ise sistemin temelini, yüzeyine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirme özelliğine sahip güneş pili denilen yarıiletken maddeler oluşturur. Fotovoltaik sistemler elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilirler, uygulamaya bağlı olarak sistemde akümülatörler, invertörler, akü kontrol cihazları ve çeşitli elektronik destek birimleri kullanılır. Bu sistemler ya bağımsız olarak özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde kullanılır yada daha büyük güçlerde şebeke bağlantılı olarak çalıştırılırlar. Fotovoltaik piller, farklı türde yarı iletken

madde kullanılarak yapılırlar. Elektronik sanayinin gözde malzemesi silisyum kristali, güneş pillerinin çoğunun üretiminde kullanılan yarı iletken maddedir. Şu anda ticari ortamda bulunabilen belli başlı türler monokristal, polikristal, ince film ve amorf silisyum pillerdir. Mono ve polikristal pillerin verimleri %14 ince film amorf silisyum pillerin ise %7 civarındadır. Yapay uyduların elektrik enerjisi fotovoltaiik toplayıcılardan sağlanmaktadır. Fotovoltaiik toplayıcıların çok yüksek maliyeti olması ile birlikte, %10civarında düşük verimlerde çalışmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılamamaktadır [4].

Güneş enerjisi temiz, yenilenebilir ve sürekli bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi ile çalışan sistemler kolayca taşınıp kurulabilen gerektiğinde enerji ihtiyacına bağlı olarak basitçe değiştirilebilen sistemlerdir. Ancak düşük verimlidirler (%15 civarında), başlangıç maliyetleri çok yüksektir, piller gibi depolama malzemeleri için uygun değildirler ve tüketiciler için maliyetleri yüksektir.

Coğrafi olarak 36-42⁰kuzey enlemleri arasında bulunan ülkemiz güneş enerjisi açısından şanslı bir konumda yer almaktadır. Yıllık güneşlenme süresi 2640 saat ve ortalama ışınım şiddeti 3080 kcal/m²gün'dür. Ülkemiz genel olarak dört farklı güneşlenme bölgesine ayrılabilir :

- Güneydoğu Anadolu bölgesi, ışınım şiddeti 4000-4400 kcal/m²gün,
- Akdeniz ve Ege Bölgesi'nin İzmir'e kadar uzanan bölümü, ışınım şiddeti 3700-4000 kcal/m²gün,
- Batıda Çanakkale'den başlayıp Orta Anadolu ve Doğu Anadolu'ya uzanan bölge, ışınım şiddeti 3100-3700 kcal/m²gün,
- Marmara ve Karadeniz Bölgesi'nin tamamını oluşturan bölge, ışınım şiddeti 2800-3100 kcal/m²-gün.

Ülkemizde şu an için güneş enerjisi kullanımı çok yaygın değildir, ancak geleceğin dünyasının enerji gereksiniminin karşılanmasında, geleneksel enerji kaynaklarının yanında en önemli seçeneklerden biri olacağı açıktır [4].

2.4.2. Rüzgar enerjisi

Rüzgar enerjisi, güneş enerjisinin dolaylı bir şeklidir, çünkü güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi her yerde aynı ısıtamaması nedeniyle

oluşan sıcaklık ve basınç farkları rüzgarı yaratmaktadır. Rüzgar yıllarca teknelerin yelkenlerini şişirmek, tarımsal ürünleri öğütmek ve su pompalamak gibi amaçlarla kullanılmıştır, ancak bugün insanoğlu rüzgar enerjisinden elektrik üretmektedir. İnsanlık yel değirmenlerinden modern rüzgar santrallerine uzanan teknolojik bir süreç yaşamıştır, yıllar önce kullanılan yel değirmenlerinde rüzgar estikçe dönen pek çok kanat bulunmaktayken bugünün rüzgar türbinlerinde ise yalnızca iki veya üç kanat bulunmaktadır, bu kanatlar yel değirmenlerinde görüldüğünden çok daha uzun 25 m'ye kadar olabilmektedir. Kanatlar, buhar türbinlerine çok benzer olarak elektriği üreten jeneratörü çalıştırır, kanatların daha uzun olması ve rüzgar şiddetinin artması türbinin elektrik üretimini artırır. Rüzgar türbinleri çevredeki engellerin rüzgarı kesemeyeceği yükseklikte bir kule üzerine yerleştirilirler, zira rüzgar hızı hem yükseklikle artmakta hem de daha az değişken olmaktadır.

Daha çok elektrik üretmek için türbinlerin rüzgar hızının sabit olduğu alanlarda kurulması uygundur ve bu nedenle de dünyada pek çok yer elverişli değildir. Rüzgar şiddeti yedi sınıfa ayrılmaktadır, bunlardan yedinci sınıftaki rüzgarlar son derece kuvvetli, ikinci sınıftakiler ise bir esinti şeklindedir. Elektrik üreten türbinler için yıllık ortalama rüzgar şiddeti 19.2 km/saat olan dördüncü sınıftaki rüzgarların uygun olduğu kabul edilmektedir.

Rüzgar türbinleri bir rotor, bir güç şaftı ve rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çevirecek bir jeneratör kullanırlar. Rüzgar rotordan geçerken aerodinamik bir kaldırma gücü oluşturur ve rotoru döndürür bu dönel hareket jeneratörü hareket ettirir ve elektrik üretir. Türbinlerde ayrıca dönme oranını ayarlayacak ve kanatların hareketini durduracak bir rotor kontrolü bulunur. Rüzgar şiddeti yükseklikle arttığı için rüzgar türbinleri kule tepelerine yerleştirilir. Yatay ve düşey eksenli sistemler olmak üzere iki temel rüzgar türbin sistemi vardır.

Rüzgar enerjisi kirlilik yaratmayan ve çevreye çok az zarar veren yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Yeryüzünde %95 gibi bir alanda rüzgar enerjisi elde edilebilir ve bu alanlarda aynı zamanda ziraat, ormancılık gibi faaliyetlerde sürdürülebilir. Yirmi türbinden oluşan tipik bir rüzgar çiftliği yaklaşık 100 hektarlık alana kurulabilmektedir, diğer güç santrallerine nazaran rüzgar çiftliği bulunduğu alanın sadece %1'ini kullanmaktadır. Rüzgar türbinleri için yakıt

maliyeti yoktur ve rüzgar bedavadır, projenin toplam maliyeti ödendikten sonra sadece işletme ve bakım maliyetleri söz konusudur, yatırım maliyeti toplam maliyetin %75 ila %90'ını oluşturmaktadır. Ayrıca rüzgar enerjisi evsel kullanım için iyi bir alternatif enerji kaynağıdır. Tüm bu avantajlarına karşın türbinlerin sesli çalışmaları sonucu yerleşim merkezlerinden ve vahşi yaşam alanlarından uzakta kurulmalarının gerekmesi, bölgesel olarak değişmekle birlikte genelde %30 civarında düşük verime sahip olmaları rüzgar enerjisinin dezavantajlarıdır [14].

Rüzgarın enerji üretiminde kullanımı, 1970'li yıllardaki petrol krizinden sonra başlamıştır. 1980-1985 yıllarında Amerika'da toplam 1580 MW güce sahip rüzgar çiftlikleri kurulmuştur, kurulu güç değeri 1998 sonu itibariyle 1946 MW'a ulaşmıştır. Avrupa'da Danimarka, Hollanda ve Almanya'da kurulmaya başlayan rüzgar çiftlikleri hızla gelişmiş, 1991 yılında yeniden düzenlenen enerji kanunu ile Almanya rüzgar enerjisinde birinci sıraya yükselmiştir. Dünyada kurulu gücün %60'ı Avrupa'da %20'si Amerika'dadır. 1998 yılında eklenen 2100 MW'lık kapasite ile dünyadaki kurulu rüzgar gücü 9600 MW'a ulaşmıştır. Bugün dünya üzerinde en büyük kurulu güç 6469 MW ile Avrupa'da yer almaktadır, Kuzey Amerika 2035 MW ile ikinci, Asya 1194 MW ile üçüncü sırada yer almaktadır. Avrupa'da en büyük kurulu güç ise 2875 MW ile Almanya ardından 1450 MW ile Danimarka ve 834 MW ile İspanya'dır. Türkiye'de ise 1998 yılı itibariyle kurulu gücün 9 MW olduğu görülmektedir. Ülkemizde resmi bir devlet kuruluşu olan Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) rüzgar enerjisi alanında araştırma, geliştirme ve demonstrasyon projelerini sürdürmektedir [15-16].

2.4.3. Jeotermal enerji

Bu enerji direkt olarak yerin kendi ısısından elde edilebilir, jeotermal kelimesi jeo anlamına gelen yer ve ısı anlamına gelen termal kelimelerinin birleşmesinden oluşmuştur. Jeotermal kaynaklar, yer kabuğunun farklı derinliklerinde magmatik veya volkanik faaliyetler sonucunda ortaya çıkan ısı kaynaklarının kontaklarında yer bularak yerleşmiş gerek meteorik kökenli gerekse atmosferik kökenli suların ısınmaları sonucunda ortaya çıkan sıvı veya gaz

fazındaki sıcak akışkanlardır. Yüzeysel ve yeraltı sularına oranla bünyelerinde daha fazla erimiş madde içeren jeotermal akışkanlar, sondaj veya bir çatlak aracılığıyla yeryüzüne aktarıldığında sıcak su veya buharın egemen olduğu hidrotermal sistemler ortaya çıkarmaktadır. Hidrotermal sistemler sıcaklıklarına göre değişik gruplara ayrılmaktadır. Rezervuar sıcaklığı 150°C 'yi aşıyorsa yüksek entalpili sistem, $30-150^{\circ}\text{C}$ arasında ise orta-düşük entalpili sistemler olarak adlandırılmaktadır [17].

Yüzyıllardır insanlar jeotermal kaynakları banyolarında veya mutfaklarında kullanmaktadırlar, ancak bugünkü teknoloji ile artık bu kaynakların kendiliğinden yeryüzüne çıkmalarını beklemek yerine jeotermal rezervuarların olduğu yerlere sondaj yapılarak enerji açığa çıkarılabilmektedir, bu jeotermal enerjinin direkt kullanımınıdır. Aynı zamanda jeotermal enerji elektrik üretiminde kullanılır, güneş enerjisinden elektrik üretimine benzer olarak jeotermal kaynaklardaki sıcak suyun oluşturduğu buhar ile çalışan türbinler sayesinde elektrik üretilir.

Jeotermal santrallerde, yakıt yakılmadığından azot emisyonu oluşmamaktadır, sülfürdioksit emisyonu ise çok düşüktür. CO_2 emisyon değerleri kömürde $900-1300 \text{ g/kwh}$ iken jeotermal enerjide $20-35 \text{ g/kwh}$ 'tur [18].

Jeotermal kaynaklardan faydalanma şekilleri de çok çeşitlilik arz etmektedir. Bu çeşitliliğin nedeni ise termal kaynağın sıcaklığı ve akışkanın kimyasal bileşiminin etkisidir. Termal kaynakların sıcaklıkları için ısı kaynağı olan magmatik faaliyete mesafesi önemli bir faktördür. Kimyasal bileşimlerindeki farklılık ise akışkanın içerisinde dolaştığı jeolojik birimlerdeki değişikliğinden kaynaklanmaktadır. Sıcaklığı 150°C ve daha yüksek olan jeotermal kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminde, $40-150^{\circ}\text{C}$ arasında olanlardan ise merkezi ısıtma, seracılık ve kür merkezi vb. şekillerinde yararlanılmaktadır, Çizelge 2.10'da jeotermal kaynakların sıcaklıklarına göre kullanım yerleri verilmiştir.

Son yıllarda geliştirilen "binary cycle" veya "multi flashing system" gibi teknolojik gelişmelerle daha düşük sıcaklıktaki sahalardan da elektrik üretimi mümkün olmakta ve santral çevrim verimleri artırılarak birim enerji maliyeti düşürülmektedir. Elektrik üretimi ile entegre olarak geliştirilen sistemlerle jeotermal akışkandan daha fazla termal güç ve diğer kullanımları elde etmek mümkün olmaktadır [19].

Termal akışkanlar üretim kuyusundan çekilip eşanjörler aracılığı ile enerjisi alındıktan sonra atık niteliğindeki soğuk akışkanın çevreye zararsız olarak bertaraf edilmesi amacıyla üretim kuyusunun bulunduğu formasyonun dışında bir formasyona yeniden enjekte edilmesi gerekir, bu işleme reenjeksiyon denir. Reenjeksiyon işleminin amacı akışkanın çevreye vereceği olumsuz etkileri ortadan kaldırmanın yanısıra, üretim kuyusunun rezervini arttırmak ve rezervuar basıncının sabit tutulmasıdır. Reenjeksiyon işlemini zorunlu kılan en önemli parametre şüphesiz jeotermal akışkanın kimyasal bileşimidir.

Çizelge 2.10 : Jeotermal akışkanın sıcaklığa göre kullanım yerleri [17]

180°C	Yüksek konsantrasyonlu solüsyonun buharlaşması amonyak absorpsiyonu ile soğutma	Elektrik üretimi
170°C	Hidrojen sülfid yoluyla ağır su eldesi, diyatomitlerin kurutulması	Elektrik üretimi
160°C	Kereste, balık vb. yiyeceklerin kurutulması	Elektrik üretimi
150°C	Bayer's metoduyla alüminyum eldesi	Elektrik üretimi
140°C	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması(konservecilik)	Isıtma
130°C	Şeker endüstrisi, tuz eldesi	Isıtma
120°C	Temiz tuz eldesi, tuzluluk oranının artırılması	Isıtma
110°C	Çimento kurutulması	Isıtma
100°C	Organik maddeleri kurutma(yosun,et,sebze vb.), yün yıkama ve kurutma	Isıtma
90°C	Balık kurutma	Isıtma
80°C	Ev ve sera ısıtma	Isıtma
70°C	Soğutma(alt sınır), sağlık tesisleri	Isıtma
60°C	Mantar yetiştirme, bancelojik banyolar	Isıtma
40°C	Toprak ısıtma, kent ısıtma(alt sınır), sağlık tesisleri	Isıtma
30°C	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma, sağlık tesisleri	Isıtma
20°C	Balık çiftlikleri	Isıtma

Jeotermal akışkanın içerisinde bulunan mineraller üretim kuyularında, iletim hatlarında ve eşanjörler içerisinde kabuklaşmalara ve korozif etkilere neden olmaktadır. Bu olumsuz etkilerin minimuma indirgenmesi amacıyla üretim kuyusuna inhibitör denilen kimyasal karışımlar ilave edilmektedir, ilave edilen bu kimyasallar zehirli ve/veya zararlı kimyasallarda içermektedir. İnhibitör sıvısı üretim kuyusuna enjekte edildikten sonra yer altında pulling özelliği göstererek yayılır bu yayılım farklı konsantrasyonlarda gerek yeraltı sularında gerek ise bu suların dolaştığı formasyonları kimyasallarla etkilemektedir. Ayrıca jeotermal akışkanlar bünyelerinde bor ihtiva etmektedir. Bor elementi akışkan içerisinde az

miktarda bulunması halinde bitkilerin gelişmeleri ve büyümeleri açısından önemli bir element olmakla birlikte, akışkan içerisindeki konsantrasyonun fazla olması halinde bitkileri çürütüp toprakta birikerek toprağı çoraklaştırmakta, hatta toprağı kullanılamaz hale getirmektedir. Jeotermal akışkanlar içinde insan ve hayvan sağlığını tehdit eden arsenik, civa, kadmiyum, kurşun, krom vb. ağır metaller bulunmaktadır. Bu nedenle içme ve kullanma suyu temin edilen yüzeysel ve yeraltı sularına jeotermal akışkanların karışması halinde bu suların kalitesinin bozulmasına, kullanılamaz hale gelmesine neden olmaktadır. Tüm bu olumsuzluklardan dolayı jeotermal akışkanların reenjeksiyon yöntemi ile yer altına verilerek doğal kaynaklara verilecek zararın önlenmesi gerekmektedir.

Jeotermal kaynakların kullanımının yaygınlaştırılması ve atık niteliğindeki enerjisi alınmış olan sıcak akışkanın reenjeksiyon yöntemi ile yeniden yer altına verilmesi durumunda temiz, yüksek verimli ve direkt olarak elde edilebildiği için maliyeti düşük bir enerji kaynağıdır. Yeraltından çıkarılarak tüketilen kısmın aynı oranda kısa süreçte tekrar oluşmasının mümkün olmaması, ayrıca bu kaynaklardan elde edilen suyun genellikle aşındırıcı ve kirlilik yaratıcı mineraller içermesi jeotermal kaynakların dezavantajlarıdır.

İlk çağlardan beri ilkel yollarla sağlık amaçlı olarak yararlanılan sıcak su kaynakları ilk defa 1827 yılında İtalya'da asitborik elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra 1905 yılında İtalya'da yine ilk defa jeotermal buhardan elektrik üretimine başlanmış ve 1912 yılında 250 Kwe olan turbojeneratör kurulmuştur. Sonraki yıllarda santrallerde kurularak jeotermal enerjinin kullanımı dünya çapında yayılmıştır.

Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar And volkanik kuşağı, Alp-Himalaya kuşağı, Doğu Afrika rift sistemi, Karayip Adaları ve Orta Amerika volkanik kuşağıdır. Türkiye, Alp Himalaya tektonik kuşağı üzerinde bulunması nedeniyle jeotermal açıdan büyük bir potansiyele sahiptir.

Ülkemiz genelinde kendi öz kaynaklarımız ile elde edebildiğimiz ve aynı şekilde kullanabildiğimiz, temiz ve de uygun kullanıldığında çevre dostu olan atıl durumdaki jeotermal kaynaklarımız bulunmaktadır. Bu gün itibariyle enerji eldesinde kullanımı ne kadar az isede, bu kaynağı yönelinmesi halinde daha ucuz ve kaliteli bir enerji kaynağı eldesi mevcuttur. Jeotermal kaynakların sayısı

açısından ülkemiz şanslı bir ülke olmakla birlikte, sıcaklıklarına bakıldığında aynı durumdan bahsetmek zordur, zira kaynakların büyük bir kısmı düşük ve/veya orta entalpili kaynak niteliğindedir. Ülkemizin jeotermal enerjiye dayalı ilk ve tek santrali Denizli-Kızıldere jeotermal alanında kurulmuş olup, enerji üretimi halen devam etmektedir. Ülkemizde görünür jeotermal potansiyelin elektrik üretimi eşdeğeri 350 Mwe, termal eşdeğeri ise 2000 Mwt olarak tahmin edilmektedir. Türkiye’de 40⁰C’nin üzerinde jeotermal akışkan içeren 140 adet jeotermal saha bulunmaktadır, bunlardan Aydın-Germencik, Denizli-Kızıldere, Çanakkale-Tuzla, Aydın-Salavatlı elektrik üretimine en uygun yüksek entalpili enerji sistemleridir. Diğer jeotermal kaynaklarımız ise daha ziyade merkezi ısıtma, soğutma, endüstriyel faaliyetler, balık çiftlikleri, banyoluk banyo şeklinde bir çok kullanım alanına sahiptir. Fakat ülkemizde jeotermal kaynaklardan en yaygın kullanım şekli merkezi ısıtmadır, zira ülkemizde bulunan jeotermal kaynaklar genel itibari ile orta ve düşük entalpili kaynaklardır.

2.4.4. Su enerjisi

Nehirler ve akarsulardaki sular tutularak, hidroelektrik güç olarak ta adlandırılan su enerjisine dönüştürülebilir, buna en iyi örnek barajlardır. Su toplama havzalarında bırakılan su akar ve türbinleri döndürür, bu türbinlere bağlı olan jeneratör ile de elektrik üretilir. Günümüzde hidrolik güçten oldukça fazla yararlanılmasına rağmen, kullanılmayan potansiyel miktarı oldukça çoktur.

İşletme masrafları çok düşük olan hidroelektrik santrallerin yatırımları desteklenmeli, ancak özellikle büyük hidroelektrik santrallerin ekolojik ve sosyo-ekonomik dengede oluşturduğu olumsuz etkilerini azaltacak tedbirler alınmalıdır. Barajların neden olabileceği olası çevre sorunları şunlardır: “Yeni oluşan baraj gölleri yada sulama faaliyetleri sonucunda, ekosistem ve iklim gibi çevre faktörleri ve buna bağlı olarak yaşayan bitki ve hayvanlarda bir kısım değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişiklikler sonucu ya bazı bitki ve hayvan türleri ortadan kalkabilmekte yada tür popülasyonlarında bir takım değişimler olabilmektedir. Barajların yapımı ile birlikte, baraj gölü ve göletler bölgesinde çok büyük bir su varlığı meydana gelmesi yöre iklimini değiştirebilmektedir. Gerek su

rezervleri ve sulama alanlarından kaynaklanan buharlaşma, gerekse büyük alanlar kaplayan bitki varlığından terleme yoluyla ortamda su buharı yayılımı sonucunda havanın nem oranında belli düzeyde artış meydana gelmekte, yaz kış ve gece gündüz arasında sıcaklık değerlerindeki farklılıklar azalmaktadır. Sulu tarıma geçilmesi ile tarımsal uygulamalarda drenaj sistemi, tuzlulaşma ve çoraklaşma sorunları ve kimyasal gübrelerden ve pestisidlerden kaynaklanan yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesi, yanlış toprak işlenmesine bağlı olarak su ve rüzgar erozyonunun hızlandırılması gibi değişik sorunlarda ortaya çıkabilmektedir.”

Hidroelektrik enerjinin avantajı maliyetinin düşük olması, kirlilik yaratmaması ve yaklaşık %80 oranında yüksek bir verime sahip olmasıdır. Dünya genelinde 14000 TWh'lik değerlendirilebilecek hidrolik enerji potansiyelinin olduğu, Kuzey Amerika ve Avrupa'da bu potansiyelin yaklaşık %60'lık bir bölümü kullanılırken, dünyanın geri kalan kısmında ancak %9-10 potansiyelin kullanılabildiği bilinmektedir [1].

Elektrik enerjisi ihtiyacının %57'si termik santrallerden, %43'ü ise hidrolik santrallerden sağlanan ülkemizde 1996 yılı sonu itibariyle 124 milyar kWh/yıl olan hidrolik potansiyelin mevcut santraller ile 36 milyar kWh/yıl (%29)'luk kısmı değerlendirilmiş olup toplam hidrolik enerji üretimi 40.5 milyar kWh olarak gerçekleştirilmiştir [20].

Ülkemizde en büyük hidroelektrik tesisler Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde bulunmaktadır. 1260 MW kurulu gücündeki Keban, 1800 MW gücündeki Karakaya ve 2400 MW gücündeki Atatürk hidroelektrik santralleri belli başlı santrallerdir [21]. Ancak barajların çevresindeki bölgenin ekolojisini değiştirmesi de dezavantajlarıdır.

Hidroelektrik enerjinin yanısıra gel-git ve dalga gücünde diğer su enerjisi kaynaklarıdır. Fransa kıyılarında bulunan Rance elektrik istasyonunda, günde iki kez meydana gelen gel-git olayından 240.000 watt'lık bir elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Ayrıca kıyıya yerleştirilen jeneratörler yardımıyla gelgitteki suyun akışı arttırılmakta, gerektiği zaman kullanılmak üzere enerji depolanmaktadır. Dalga üzerinde bulunan kinetik enerjiden elde edilebilecek enerjinin miktarı sürekli değişmektedir.

Gelgitten yararlanarak elektrik enerjisi üretme teknolojisinin kullanım alanı çok sınırlıdır. Bu süreç içinde dar bir körfezin önüne yapılan bir dalgakıran ile “gel” sırasında körfeze akan su tutulur ve daha sonra “git” sırasında denizden daha yüksek seviyede bulunan körfez suyu, bir su türbininden akıtılarak elektrik üretilir. Bu yöntem ile elektrik üretimi pahalıdır ve kullanılabilirliği sınırlıdır. Bir diğer zorlukta etkili bir istasyonun kilometrelerce kıyı şeridinin bu iş için ayrılmasını gerektirmesidir, bu da gemiciliği önemli ölçüde etkileyecektir.

2.4.5. Elektrik enerjisi depolama ve hidrojen enerjisi

Enerjinin istenilen yer ve zamanda kullanılabilmesi için depolanması gerekmektedir. Enerjinin büyük miktarda depolanabilmesi ile enerji sorunu büyük ölçüde çözülebilecektir. Kısıtlı depolama özelliği olan aküler dışında enerjinin çok büyük ölçekte depolanması için bugüne kadar bilinen iki yöntemden biri, üretilen enerjiyi hidrojene çevirmektir. Depolanan hidrojeni daha sonra istenilen yer ve zamanda kullanmak mümkündür. Burada en büyük engel, hidrojene dönüşüm ve daha sonra hidrojenin depolanması ile kullanımı sırasında ortaya çıkan yüksek maliyet olmaktadır. Bu engelin aşılması için güneş enerjisi kullanılarak hidrojen üretim maliyeti içindeki ilk enerji maliyeti düşürülmekte, böylece sistemler daha ekonomik hale getirilmektedir. Hidrojenin istenilen yerde kullanımı için geliştirilen yakıt pillerinde de büyük ilerleme görülmektedir [22].

Enerji depolamada ikinci yöntem ise, güneş enerjisinin fotosentez yoluyla bitkilere depolanması olayıdır. Biyokütle konusunda yoğun çalışmalar yapılmakta olup, bitkilerden dizel ve alkol elde edilmekte ve doğrudan biyokütle yakan termik santraller yapılmaktadır. Ayrıca, daha çok biyokütle üretmek ve fotosentez verimini arttırmak için bitkiler üzerinde genetik çalışmalar yapılmaktadır [22].

Büyük miktarda enerji depolanması için en uygun madde hidrojendir. Günümüzde büyük miktarlarda enerji depolamak için hala uygun bir yöntem bulunmuş değildir. Eğer bugün hidroelektrik santrallerinde üretilen elektrik enerjisinin depolanması mümkün olsaydı, enerji sorununu bir ölçüde çözmek mümkün olabilirdi, ancak elektrik enerjisi için bilinen en iyi depolama yöntemleri akülerle sınırlıdır.

Hidrojen gazını depolamanın belki de en ucuz yöntemi, doğal gaza benzer şekilde yer altında, tükenmiş petrol veya doğal gaz rezervuarlarında büyük miktarlarda depolamaktır. Maliyeti biraz daha yüksek olan bir depolama şekli ise, maden ocaklarındaki mağaralarda saklamaktır. Orta veya küçük ölçekte depolamak için en çok kullanılan yöntem sıvılaştırılmış hidrojenin yüksek basınç altında çelik tüpler içinde tutulmasıdır, ancak bu uygulama büyük miktarlar için oldukça pahalı bir yöntem olarak görülmektedir. Bir diğer pratik çözüm ise, sıvı hidrojeni düşük sıcaklıktaki tanklarda saklamaktır. Uzay programlarında roket yakıtı olarak sürekli şekilde kullanılan sıvı hidrojen bu yöntemle depolanmaktadır. Dünyadaki en büyük sıvı hidrojen tankı, Kenedy Uzay Merkezi'ndedir. Devamlı soğuk tutulan bu tanklarda ısı kaybını daha doğrusu dışarıdan içeriye ısı kaçığını önlemek için termos şeklinde içiçe geçmiş ve aralarında vakum bulunan çift çeperli malzeme kullanılmaktadır. Hidrojenin bir diğer önemli özelliği de ekzotermik kimyasal reaksiyonla, bazı metal ve alaşımlarla kolayca büyük miktarlarda hidrat biçimine dönüşebilmesidir. Bu özellik hidrojenin, metal veya metal alaşımlarla metal hidrat olarak depolanmasını sağlar. Metal hidrat ısıtıldığı zaman hidrojen gazı buradan ayrılır ve metal veya alaşım, tekrar depolama için yeniden kullanılabilir. Hidrojeni daha iyi şekilde depolamak için çeşitli metal alaşımları üzerindeki çalışmalar halen devam etmektedir [22].

Bu konuda önemli bir teknolojiye yakıt hücreleridir. Bir yakıt hücresinde hidrojen, doğal gaz veya propan gibi bir yakıt, hareketli parçalar kullanılmaksızın doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilmekte ve belli bir yakıtın aynı miktarını yakıp kazanlar, türbinler ve jeneratörler yardımı ile elektrik enerjisine dönüştürmeye oranla, iki katı fazla elektrik üretilmektedir. Birincide verimin %40-80 olmasına karşılık ikincide verim %25-40'tır. Yakıt hücresinde, gaz veya sıvı yakıt ve oksitleyicinin dışarıdan yönetilmesine karşılık; akümülatörlerde, katı yakıt ve oksitleyici kullanıldıkları yer olan plakalar üzerinde depolanmıştır. Bu bakımdan yakıt hücreleri akümülatörlerden farklı cihazlardır [23]. Yakıt pilleri aynı zamanda sürekli enerji değişimi yapan araçlar (üreteçler) olarak tanımlanabilir. Yakıt pili ile hidrojen üretimi için kullanılan bir elektroliz hücresi beraber kullanıldığında ideal bir fotovoltaik enerji depolama sistemi oluşur. Çünkü güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik

pillerin ürettiği doğru akımı kullanarak suyu elektrolizle hidrojen ve oksijene ayırmak, daha sonrada bu hidrojeni yakıt pillerinde istenildiği zaman ve yerde enerjiye dönüştürmek mümkündür [22].

Bugün dünyada teknolojik gereksinimlerle yılda $500-600.10^9$ m³ hidrojen fosil yakıtlardan üretilmektedir. Ancak, hidrojenin sudan üretimi temeldir [24].

Üretim, depolama ve taşıma konusundaki problemlere bir çözüm bulunacak olursa, hidrojen önemli bir ikincil enerji şekli olabilir. Elektrik gibi hidrojende üretimi için diğer bir enerji kaynağına gereksinme gösterir. Fakat hidrojen diğer enerji kaynaklarına oranla önemli teknik ve ekonomik üstünlüklere sahiptir.

2.4.6. Nükleer enerji

Nükleer enerjinin temeli, yer kabuğunda bulunan uranyum gibi bazı ağır elementlerin izotoplarına bölünmesi temeline dayanır. Bu tip bir atom çekirdeğinin bölünmesi ile daha hafif parçacıklar oluşur, kütleli fark ise enerjiye dönüşür. Bölünen atom bu anda nötron ve ağır atom altı parçacıkları yayar. Uygun koşullar altında bu parçacıklar diğer bölünebilir atomlara çarparak bunlarında bölünmelerine neden olur, böylece zincirleme bir çekirdek tepkimesi ortaya çıkar. Isı şeklinde ortaya çıkan enerji, elektrik üreten jeneratörleri çalıştıran türbinler için su buharının elde edilmesinde kullanılır. Bilimsel teorisinin basit olmasına karşın nükleer enerjinin güvenilir bir şekilde üretilmesi son derece karmaşık bir mühendislik uygulamasını gerektirir.

Ancak radyoaktif atıkların nasıl bertaraf edileceğinin hala çözümsüz olması, normal işletme anında bile çevreye sızan ve işletmede çalışanlara da zarar veren radyasyon yayılımı, sıkça yaşanan ve milyonlarca kişiyi etkileyen nükleer kazalar, uranyum yakıtı işletmeciliğinin sorunları ve nükleer silahlanmayı ve uluslararası tehditleri arttırması gibi nedenlerden ötürü günümüzde nükleer enerji geçmiş yıllardaki popüleritesini kaybetmiştir. Ayrıca ilk yatırım ve normal işletim maliyetleri çok yüksek olan nükleer santraller , 30-35 yıllık ekonomik ömürleri boyunca sıkça karşılaşılan kazalar, devre dışı kalmalar, bakımlar ve onarımlar nedeniyle çok pahalıya enerji üretirler. Tüm bu nedenlerden dolayı tüm dünyada nükleer santraller yerine yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarına, enerji

verimliliğine, enerjinin etkin ve doğru kullanımına, tasarrufuna, az enerji kullanan yeni üretim teknolojilerine bir yönelme vardır.

Dünya nükleer santrallerinin kurulu güç kapasitesi, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı raporlarına göre, 1998 yılında 434 reaktör ünitesi ile 348834 MW'a ulaşmıştır. 1998 yılında toplam nükleer enerji arzı 2404 TWh olup, bu arzın 2005 yılı itibariyle fazla değişiklik göstermeyerek 2128.8 TWh olması beklenmektedir. Dünya nükleer enerji üretiminin yaklaşık %87'si OECD ülkeleri tarafından gerçekleştirilmiştir. 1998 sonu itibariyle OECD ülkelerinden Fransa'nın elektrik üretimindeki nükleer payı %75.8, Belçika'nın %55.2, Japonya'nın %35.9 ve ABD'nin %18.7 oranındadır. İşletmedeki nükleer santrallere bakıldığında ise ABD 104 ünite ve 96423 MW kurulu güç ile en fazla nükleer santrale sahip ülkedir [1-4].

2.4.7. Biyokütle enerjisi

Biyokütle tükenmez bir kaynak olması, her yerde bulunması, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeni ile uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genelde güneş enerjisini fotosentez yoluyla depolayan bitkisel organizmalar ve buna bağlı organik madde kaynakları olarak tanımlanabilir. Biyokütle yapısında organik madde bulunduran suda veya karada yaşayan bitkileri, bitkisel ve hayvansal atıkları, besin endüstrisi atıklarını ve şehirselle atıkları kapsar.

Genel olarak biyokütle, kolay elde edilen bir enerji kaynağıdır. Özellikle enerji kaynakları sınırlı ve tarımın ağırlık taşıdığı ülkelerde biyokütle daha da önem kazanmaktadır. Biyokütle kaynağı olarak tarımsal atıkların özellikle bitkisel üretimde elde edilen yan ürünlerin kullanılabilirliği üzerinde araştırmalar yapılmaktadır.

Örneğin biyokütle enerji sistemlerinin elektrik üretiminde kullanılması, gazlaştırma teknolojisine dayalı ileri enerji çevrimleri olan biyokütle-entegre gazlaştırma/gaz türbin (BIG/GT) çevrimlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca biyogaz teknolojisi üzerinde de çalışmalar

sürdürülmektedir. Bu çalışmaların hedefi hem gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal kesimde, hem de endüstriyel biyogazlaştırma tesislerinde kullanılmak üzere etkin, ucuz ve güvenli anaerobik enzimlerin geliştirilmesidir.

Yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütlenin toplam enerji eşdeğeri 2880 EJ (65376 Mtep) olup bu değer 1997 dünya enerji tüketiminin yaklaşık sekiz katına eşittir. Günümüzde ise ancak %7'si kullanılabilir [25]. Biyokütle kaynakları arasında yer alan odun, tezek ve bitki atıkları ülkemiz genel enerji dengesi içerisinde önemli bir yer işgal etmektedir. Ülke yüzölçümünün %26'sını kaplayan 20 milyon hektar ormanlık alanımızın %44'ü orman niteliğinde olup, yakacak odun üretimi büyük oranda bozuk, normal koru ve baltalıklardan ayrıca enkaz ve ağaçlandırma sağlanacak odun üretimlerinden elde edilmektedir [26]. Ancak odun yenilenebilir enerji kaynağı olarak büyük bir potansiyele sahip olmakla birlikte tüketimi o derece hızlıdır ki yenilenebilir kapasitesi oldukça düşmüştür. Türkiye'de sanayi hammaddesi olarak değerlendirilmesi mümkün olan odun büyük ölçüde yakacak olarak kullanılmaktadır. Yakıt maddesi olarak tüketilen odun, toplam enerji üretimi içinde büyük bir yer tutmaktadır. Odunun toplam enerji içindeki payı 1960 yılında %34 iken 1993'de %8.9'a düşmüştür. Buna karşılık 1993 yılında yakıt olarak kullanılan odun tüketimi 18.1 milyon tondur, oysa ormanlaşmanın yakacak odun potansiyeli yalnızca 9 milyon ton olarak değerlendirilmektedir. Orman varlığının tahribi suretiyle odun tüketimi söz konusudur ki buda ormanların giderek azalması yanında erozyon, sel ve taşkınların artmasına sonuçta da çevrenin tahribine yol açmaktadır [10].

Hayvan gübresinden elde edilen tezek ile ceviz, fındık, ayçiçeği kabukları, çığit ve mısır koçanı gibi bitki atıkları da yine termal amaçlarla büyük oranda kullanıma girmektedir. 1993 yılı sonu itibariyle 8.5 milyon ton tezek ile 2.4 milyon ton bitki atığı ısınma amacıyla konut sektöründe tüketilmiştir [26].

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan biyokütle; atmosferdeki CO₂'yi kullanarak sera etkisini azaltması, SO₂ problemi yaratmaması gibi nedenlerle çevre dostu olarak değerlendirilmektedir. Bol ve ucuz bulunması, diğer kaynaklara göre daha az masrafla üretilmesi gibi avantajları da biyokütleyle özellikle gelişmekte olan ülkelerde geniş bir uygulama alanı sağlamaktadır.

3. BİYOKÜTLE

Endüstri devriminin ardından ortaya çıkan hızlı kentleşme, insanlığın enerjiye olan gereksinimini her geçen gün arttırmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelerde, artan talep karşısında ortaya çıkan enerji darboğazı, bilim adamlarını alternatif kaynakların arayışına yönlendirmiştir.

Ülkemiz gelişmekte olan ülkeler arasında yer almaktadır. Enerji gereksiniminin büyük ölçüde dışa bağımlı olması ve sürekli artış göstermesi buna karşın enerji kaynaklarının sınırlı olması, bu konuda ki önlemlerin en kısa sürede alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

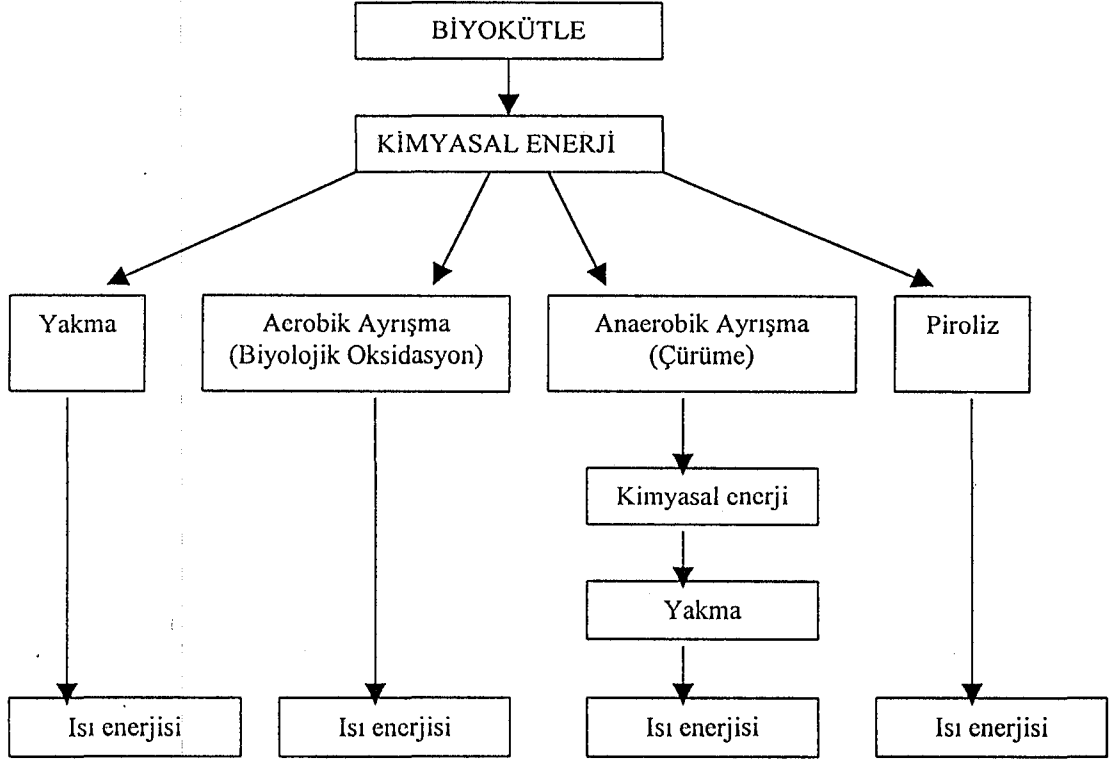
Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle doğal dengeyi bozmaması, çevre kirliliğine neden olmaması, elde edilen enerjinin az masrafla üretilmesi, depolama ve kullanımda ki uygunluğu ile son yıllarda önem kazanmıştır.

3.1 Biyokütlenin Tanımı

Biyokütle ; 100 yıllık periyottan daha kısa zamanda yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan atıkları ve gübre, gıda endüstrisi ve orman yan ürünleri ile kentsel atıkları içeren organik maddeler olarak tanımlanabilir [3]. Biyokütleden enerji direkt yanmayla veya sıvı yada gaz yakıtlara dönüşümüyle elde edilebilir.

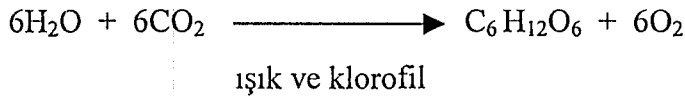
Biyokütle kaynağını güneşten alan sürekli enerji kaynağı sağlama potansiyeline sahiptir. Biyokütleden enerji eldesine ait akım şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.

Fotosentez, ışığa ve klorofil adı verilen yeşil renkli pigmente ihtiyaç gösteren canlı alem için gerekli besinin yani organik maddelerin yapılmasını mümkün kılan başlıca olaydır. Fotosentez bitkilerin yeşil kısımlarında meydana gelmektedir. Fotosentez ile ışık enerjisi kimyasal enerjiye çevrilir, buda karbonhidrat sentezine ve oksijenin serbest kalmasına yol açar.



Şekil 3.1. Biyokütleden enerji eldesi akım şeması [27].

Kimyasal yönden fotosentez, enerji isteyen bir reaksiyonla suyun hidrojeni alınarak oksijeninin serbest bırakılması şeklinde özetlenebilir. Karbondioksit sudan ayrılan hidrojen için akseptör görevi görür ve karbonhidrat bileşiklerini oluşturur. Bu olaylar aşağıdaki basit kimyasal denklemle ifade edilebilir :



Su bitkileri fotosentez için suda erimiş halde bulunan CO_2 'ı kullanırken, kara bitkileri gerekli CO_2 'ı havadan sağlar ; her iki grup bitki için CO_2 temininde ikinci kaynak solunumdur [28].

CO_2 miktarı ve ışık şiddeti arttıkça belli bir sınıra kadar fotosentez hızı da ona bağlı olarak artmakta ancak belli bir değerden sonra bu artışın bir etkisi olmamaktadır. Fotosentezde kloroplastların ihtiva ettiği su kullanılmaktadır, bununla birlikte hücrelerin turgor halinde olması yani su ile doymuş olması fotosentez hızını arttıran bir faktördür. Ortamın sıcaklığı da fotosentezin karanlık reaksiyonunda iş gören enzimlerin aktivitesini etkilediğinden dolayı fotosentez

hızını etkileyen bir diğer faktördür. Ortamda bulunmayışları klorofil eksikliğine ve ışık reaksiyonunun kısılmasına yol açan mineral tuzları (Fe,Mg,Mn) ; ATP oluşumunda rolü olan elementlerin yeter derecede bulunup bulunmaması; yaprağın yapısı, kalınlığı, kloroplast sayısı, hücreler arası boşlukların hacmi ve stoma sayısı da fotosentez hızına etki eden parametrelerdir. Tüm uygun şartlar bir araya gelse de farklı bitkilerde fotosentez hızı aynı olmaz çünkü her bitkinin kendine has bir kalıtsal yeteneği vardır [28].

Fotosentez sonucu şeker ve nişasta yani karbonhidratlar meydana gelir, bunların bir kısmı bitki tarafından solunumda kullanılır, geri kalan kısmı da bir takım değişikliklere uğratarak sekonder ürünlere çevrilir ve depo maddesi olarak saklanır. Bu sekonder ürünler arasında nişasta, selüloz, şekerler, proteinler, yağlar vb.. sayılabilir [28].

Fotosentez yapan her canlı bir enerji kaynağı aynı zamanda bir biyokütledir. Biyokütle, biyolojik kökenli fosil olmayan organik madde kütesidir. Ana bileşenleri karbonhidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise biyokütle enerjisidir [25-28].

3.2 Biyokütle Kaynakları

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle kaynakları bitkisel, hayvansal, endüstriyel atıklar ve şehir çöpleridir.

En önemli biyokütle kaynağı olarak bilinen odun, tahıl, kentsel ve hayvansal atıkların özellikleri ve ısıl değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir [29].

3.2.1. Bitkisel kaynaklı biyokütle

Dünya yüzeyinin yaklaşık olarak üçte biri orman alanları ile kaplıdır. Bilinen en eski biyokütle kaynağı olan odun sanayi devrimine kadar yoğun olarak kullanılmış, günümüzde de özellikle az gelişmiş ülkelerde geleneksel yaklaşımla kullanımı sürmektedir.

Çizelge 3.1. Bazı biyokütle kaynaklarının özellikleri [29]

	Odun	Tahıl	Kentsel Katı Atık	Hayvansal Atıklar(Gübre)
Karbon(%)	50.0-53.0	45.0	47.6	35.1
Hidrojen(%)	5.8-7.0	5.8	6.0	5.3
Azot(%)	0-0.3	2.4	1.2	2.5
Kükürt(%)	0-0.1	0	0.3	0.4
Oksijen(%)	38.0-44.0	42.5	32.9	38.7
Uçucu madde(%)	77.0-87.0	80.0	77.0	76.5
Sabit karbon(%)	13.0-21.0	0	11.0	0
Kül(%)	0.1-2.0	4.0	12.0	23.5
Nem(%)	25.0-60.0	16.0	20.0	7.0-35.0
H/C oranı	1.4-1.6	1.5	1.5	1.8
Isıl değer(Mj/kg) (Kuru)	19.8-21.0	16.8	19.0	13.4

Orman kaynaklı biyokütle enerjisi yakacak odun, dallar, kökler, ağaç kabuğu, kütük gibi atıklar ve inceltmiş materyalleri kapsayan tüm ağaçları içermektedir. Kereste fabrikalarının atıkları da bu kapsamda değerlendirilmektedir [30]. Odunun ısıl değeri 8300-21000 kJ/kg arasında değişmektedir. Biyokütle enerjisi elde etme açısından yüksek verim sağlayacak niteliklere sahip olması odunun tercih sebebidir. Orman atıkları biyokütle enerjisi olarak sıvı ve gaz yakıt veya elektrik üretiminde hammadde olarak değerlendirilebilmektedir [31].

Odunun yakıt olarak tüketilmesi çevresel bozulmaların yanı sıra önemli bir sanayi maddesinin yakılarak tüketilmesine de neden olmaktadır. Bu durumun önlenmesi için son yıllarda üzerinde durulan çözümlerden biri "Enerji Ormanları"dır. Enerji ormanları özel olarak biyokütle kaynağı elde etmek amacıyla yetiştirilen ve kısa sürede yenilenebilen biyokütle kaynaklarıdır [20]. Enerji ormanlarının geliştirilmesinde en önemli kriterler şunlardır :

- Güneş enerjisi kullanım etkinliğinin yüksek olması ve bitkinin çok yüksek büyüme hızına sahip olması,
- Bitkinin yüksek enerji değerine sahip olması, metabolizmasında atmosferik karbondioksiti karbonhidratlara dönüştürebilmesi,
- Bitki veriminin yüksek olması; tarımının, ekstraksiyonunun ve distilasyonunun maliyetinin düşük olması,
- Karada tarımı yapılabilen bir bitki olması, besin olarak yada endüstriyel alanda kullanılması,

-Bitkinin insanlara ve hayvanlara zarar verebilecek zehirli maddeler içermemesidir [32].

Kısa sürede yetişen orman ürünlerine örnek olarak pek çok türü bulunan okaliptüs ve kavak türleri verilebilir. Kısa sürede yetişebilen orman ürünleri 2-8 yıldan sonra hasat edilebilirken normal ormanların hasat süreleri 30-60 yıldır.

Eucalyptus(sıtma ağacı) ağacı çok hızlı büyümesi ve içerdiği uçucu yağdan dolayı yaygın olarak kullanılan bir biyokütle kaynağıdır. Bazı Güney Amerika ülkelerinde Eucalyptus ağaçları odun kömürü kaynağı olarakta yaygın şekilde değerlendirilmektedir [33].

Pamuk odunu (cotton wood), kızıl ağaç ve kavak gibi hızlı büyüyen ağaçlarda biyokütle kaynaklı enerji elde edilmesi amacıyla yaygın olarak yetiştirilmektedir [34].

Selüloz pek çok biyokütle kaynağının temel yapıtaşıdır ki yapıları holoselüloz ve ligninden oluşan odun, odunsu ve otsu bitkilere lignoselülozik maddeler denir. Yapısında selülozik ve lignoselülozik bileşenler bulunan orman atıklarının başlıca bileşenlerini karbon, hidrojen ve oksijen oluşturur. Genelde ağırlıkça karbon %50, oksijen %40, azot %5'tir. Orman atıkları yaklaşık 18610 kJ/kg ısı değeriindedir. Kül içerikleri %1'den azdır, kabuk kısımlarında ise %2-10 arasında değişmektedir [34].

Tarımsal kalıntılar; hasatlardan sonra tarlada kalan bitki parçaları, paketleme işlemlerinde üretilen kalıntılar ve işleme prosesinden atılan maddeler olarak tanımlanmaktadır. Tarımsal ürün atıklarının büyük çoğunluğunu her yıl üretilen kalıntıların %85'den fazlasını oluşturan mısır koçanı, buğday samanı, soya fasulyesi atıkları, pirinç kabukları, yer fıstığı kabukları, pamuk atıkları ile arpa, buğday, yulaf, çeltik sapları gibi atıklar oluşturmaktadır [35].

Genellikle bitkinin sadece tohumları veya yumruları toplanarak, tarlada kalan kısmı "tarımsal atık" olarak bırakılır. Lignoselülozik bileşime sahip olan tarımsal atıklar genellikle homojen bir bileşime sahiptir; partikül boyutu, nem içeriği ve yığın yoğunluğu en önemli karakteristik özellikleridir. Nem içerikleri genelde %15 civarındadır, kalorifik değerleride 11500-18600 kJ/kg arasında değişmektedir. Düşük nem içeriklerinden dolayı bu tür atıklar nem giderme gibi ön ısı işleme gerek olmadan yanabilir ve yakıt olarak kullanılabilir. Yeşil bitki

atıkları ise %78-84 gibi yüksek nem içeriğine sahiptirler, bu nedenle güneş veya havada kurutularak anaerobik bozundurma ile gaz üretimine hazır duruma getirilirler.

Tarımsal atıklardan farklı şekillerde yararlanmada yanma özelliklerinin değerlendirilebilmesi için gerekli olan C, H, O, N kimyasal elementlerini içeren analizler önemli olmaktadır. Farklı tarımsal atıklarda ortalama karbon içeriği %40-50, hidrojen içeriği %5-6 ve oksijen içeriği %40'ın altında olmaktadır. Azot içeriği genellikle %1'in altındadır, kükürt içeriği ise çoğu tarımsal atık için yok denecek kadar azdır [36-37]. Çizelge 3.2'de bazı tarımsal atıkların bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Bazı tarımsal atıkların bileşimleri [36]

Tarımsal Atık	Kuru Madde (%)	Organik Madde (%)	Ham Protein (%)	Ham Yağ (%)	Ham Elyaf (%)	Azot İçermeyen Özütlür (%)	Kül (%)	Isıl Değer (Mj/kg)
Buğday sapı	82-88	94.0	3.2	1.6	45.5	43.7	6.0	12.9-14.9
Arpa sapı	82-88	93.9	4.0	1.8	43.5	44.6	6.1	12.9-14.9
Mısır sapı	70-86	91.0	9.4	1.6	30.9	49.2	9.0	3.3-7.2
Pirinç sapı	82-88	83.0	5.1	1.6	38.9	36.9	17.4	10.9-12.6
Buğday kabuğu	84-90	86.9	5.5	1.9	34.4	45.0	13.1	12.3-13.7
Arpa kabuğu	84-90	80.9	4.5	1.8	26.9	47.8	19.1	10.8-13.5

Tarımsal kalıntılardan biyokütle kaynağı olarak optimum yararlanabilmesi amacıyla yoğun araştırmalar yapılmaktadır, aşağıda örnekleme amacıyla bu çalışmalardan bazıları verilmiştir :

- Buğday gazından metan gazı üretimi [38]
- Domates ve şeftali gıda sanayi atıklarının metan gazına dönüştürülmesi [39].
- Tahıl tozlarının su buharı ile gazlaştırılması [40].
- Tahıl sapı gübre karışımlarının metana dönüştürülmesi [41].
- Şeker kamışının ekstraksiyon artığı şeker kamışı küspesinin buhar ve elektrik üretiminde değerlendirilmesi [42].
- Çabuk büyüyen ve kuraklığa karşı dayanıklı olan ayçiçeği bitkisinin biyokütle enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi [43].

-Karadeniz Bölgesi'nde yetişen ve ülkemiz ihracatında önemli bir yeri olan fındık kabuklarının biyokütle enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi [26].

-Kıraç bölgelerde yetişen ve endüstriyel yada besin bitkisi olarak değerlendirilemeyen Euphorbia bitkisinin biyokütle enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi [32].

-Kolza (rape seed) tohumunun biyokütle enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi [24].

Bitkisel ürünlerden şeker kamışı, gıda ve yakıt hammaddesi olup, endüstriyel ve biyokütle kaynağı olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Şeker kamışından, şeker ekstraksiyonundan sonra geriye kalan selülozlu atık yakıt olarak değerlendirilmekte ve elde edilen etanol benzin ile birlikte yakıt olarak kullanılmaktadır [44].

Tarımsal atıklardan olan ve tahılların hasatı sonrasında oluşan saman ve diğer kalıntılar, özellikle tarım ülkelerinde biyokütle kaynağı olarak çok büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu atıklar yaklaşık %14 gibi düşük nem içeriğine sahiptirler ki bu yüzden nem giderme işlemleri uygulanmadan yakıt olarak kullanılabilirler [32].

Verimli bir fotosentetik sisteme sahip olan ve yüzeylerine gelen güneş enerjisinin %2-3'ünü kullanabilen bitkiler "C₄" bitkileri olarak adlandırılmaktadır. Bu bitkiler, yüksek oranda güneş ışığı olan bölgelerde yetişebilir, suyu çok daha verimli olarak kullanabilir, düşük karbondioksit konsantrasyonlarında dahi fotosentez yapabilir, ışığı kullanma yetenekleri yüksektir ve diğer bitki türlerine göre mevsimsel kuraklığa daha dayanıklıdır. Tatlı-sorghum, şeker kamışı, mısır gibi bitkiler tipik C₄ bitkileridir. Günümüzde C₄ bitkilerinden ısı ve enerji üretimini ve kullanımını arttırmada ekonomik ve teknik gelişmeler sağlanmıştır. Yulaf, arpa, pirinç, buğday, pamuk, yonca, soya fasülyesi, fıstık ve ayçiçeği gibi "C₃" bitkileri ise ortalama 25⁰C sıcaklıktaki ortamları tercih etmektedir [45-46].

Biyokütleden enerji elde edilmesinde sweet sorghum ümit verici bitkilerdendir. Bu bitkiden elde edilen enerji türleri arasında etanol, pirolitik yağ, kalitesi artırılmış yağlar, mangal kömürü, sentetik gaz ve bitkinin su ve şekeri alınmış posa kısmından elde edilen selülozik maddeler sayılabilir.

Sweet sorghum tahıllardan ve lignoselülozik biyokütle kaynaklarından daha yüksek verimle, daha düşük kalitede ki topraklarda, daha az gübre ve daha az su kullanılarak yetiştirilebilir. Toplam bioctanol verimi 5m³/ha.yıl'a ulaşabilir. Ekim için gerekli olan tohum ihtiyacıda pek çok bitkiden daha azdır [47].

Su bitkilerinden biyokütle enerjisi eldesinde ise sıklıkla tek ve çok hücreli su yosunları kullanılmaktadır. Tek hücreli su yosunlarından olan Chlorella ve Scenedesmus, fotosentez verimlerinin yüksek olması nedeniyle açık havada seri şekilde üretilebilirler. Chlorella bitkisinin yıllık üretim miktarı, 401 ton/hm² yıl'dır. Su yosunlarının üretimi için gerekli besin maddeleri, atık sulardan sağlanabilmektedir. Tek hücreli su yosunlarının çoğu temiz sularda da yetiştirilebilmekte ve bunlardan çiftliklerde kısıtlıda olsa enerji uygulamalarında yararlanılmaktadır. Ancak tek hücreli yosunların fazla su içeriği enerji üretiminde kullanımını zorlaştırmaktadır [48].

3.2.2. Hayvansal atıklar

Hayvansal atıklar toplam biyokütle enerji potansiyelinin küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Az gelişmiş ülkelerde katı yakıt olarak doğrudan kullanılmaktadırlar. Tezek adı verilen hayvan gübresinin samanla karıştırılıp kurutulmasıyla elde edilen katı yakıt, hayvansal atıkların en verimsiz kullanım şeklidir [29]. Ülkemizde bütün hayvan gübresinin %25-30'u toprağa verilmekte, %20-25'i tezek olarak yakılmakta, geri kalanı ise kaybolmaktadır [49].

Hayvansal atıkların ortalama ısıl değeri kuru temelde 17450 kJ/kg'dır. Nem içeriği ise %60-85 arasındadır. Nispeten yüksek nem içeriğine sahip olan hayvansal atıkların teknolojiye kullanımı sınırlıdır [50].

Hayvansal atıkların enerji amaçlı kullanımında en verimli ve uygun yöntem "biyogaz" yöntemidir. Biyogaz çeşitli hayvan ve insan dışkıları ile tarımsal atıkların oksijensiz ortamda belirli sıcaklıkta mikroorganizmalarla parçalanması ve çürümesi sonucunda meydana gelmektedir. Yanıcı olan bu gazın esas bileşimini metan oluşturmaktadır. Mevcut çalışmalar biyogazın daha ekonomik üretimi üzerine yoğunlaşmıştır [49]. Çizelge 3.3'de bazı enerji kaynakları biyogaz ile karşılaştırılmıştır [51]. Biyogazın ısıl değeri bileşimindeki metan oranına göre

değişmekle birlikte genellikle 4700-6000 kcal/m³'tür. Bir ton ahır gübresinden ortalama 40 m³ biyogaz elde edilebilmektedir [52-53].

Bileşiminde metan ve karbondioksit bulunan bir gaz karışımı olan biyogaz, ısı değeri yüksek bir enerji kaynağıdır. Bir çok Afrika ve Asya ülkesinde biyogaz yakıt olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık 4.5 milyon dolayındaki tesisle biyogaz tesisinin en çok olduğu ülke Çin'dir. Biyogaz sadece enerji üretiminde kullanılmaz, tarımsal üretimle uğraşanlar için biyogazın asıl önemi fermente olmuş değerli bir organik gübre elde edilmesidir [53].

Ülkemizde biyogaz potansiyelinin tespiti konusunda yapılan çeşitli çalışmalarda, yanmış hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyelinin 3 milyar m³/yıl ile 5 milyar m³/yıl arasında olduğu belirlenmiştir. Bu miktarlar 1993 yılı toplam enerji tüketiminin %4.5-8.5'ünü teşkil etmektedir [54]. Öte yandan Türkiye'de bulunan 2000'in üzerindeki çöplükte kendiliğinden oluşan metan gazı miktarı 650 milyon m³ olarak kabul edilmektedir. Bu miktarda yaklaşık 650000 TEP'e veya 8 milyar kwh elektrik enerjisine eşdeğerdir [52].

Çizelge 3.3 Bazı enerji kaynaklarının biyogaz ile karşılaştırılması [51]

Yakıt Türü	Birim Enerji Değeri(MJ)	Yanma Verimi (%)	Kullanılabilir Enerji(MJ)	Biyogaz Enerji Eşdeğeri
Biyogaz(m ³)	20	60	11.8	1 m ³
Elektrik(kwh)	3.6	70	2.5	4.7 kwh
Gazyağı(L)	38	50	19	0.62 L
Bütan(kg)	46	60	27.3	0.43 kg

3.2.3 Şehir çöpleri ve endüstriyel atıklar

Katı şehir atıklarını; çöpler, tüketilen ve kullanılan yiyecek, giyecek ve diğer kullanım maddelerinden oluşmaktadır. Bileşimleri mevsimlere ve yerleşim yerlerine bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Şehirsel atıklar kimyasal yapılarında karbonhidrat, yağ, protein, selüloz, hemiselüloz, lignin, aromatik ve alifatik hidrokarbonlar içermektedir. Bu çöpler anaerobik (oksijensiz ortamda) koşullarda bakteriler tarafından ayrıştırılarak metan gazına dönüşebilmektedir [32]. Bazı katı atıkların yaklaşık ısı değerleri ve yoğunlukları Çizelge 3.4'te verilmiştir [23].

Çizelge 3.4. Bir kısım katı atıkların yaklaşık ısıl değerleri ve yoğunlukları [23]

	kcal/kg (yanarken)	kg/m ³ (atılırken)
Bitüm atıklar	9200	890
Ambalaj kağıdı	4030	80
Karton	3780	107
Mantar	6300	190
Oluklu kağıt(gevşek)	3910	59
Elyafli levha	4540	534
Lateks	5560	712
Et döküntüleri	4220	237
Naylon	7570	119
Parafin mumu	10340	831
Plastik kaplı kağıt	4080	80
Polietilen film	10990	12
Polipropilen	11030	59
Polistren	9830	104
Poliüretan köpük	9770	33
Reçine bağlantılı cam elyaf	10830	587
Lastik	8120	712
Ayakkabı derisi	4020	320
Katranlı kağıt	6390	267
Sentetik olmayan tekstil atıkları	4440	166
Sentetik tekstil atıkları	8330	142
Bitkisel besin atıkları	1000	222
Odun	5000	178

Evsel atıklarda bir enerji kaynağı olarak önemli bir potansiyele sahiptir, organik olmayan cam, metal gibi katı maddelerin ayrılmasından sonra atıklarda yüksek oranda selülozik madde ve biyokimyasal dönüşüme uğrayabilecek maddeler kalmaktadır. Evsel atıkların üst ısıl değeri 9.9-12.2 MJ/kg, kül içeriği %12.6-32, ortalama yoğunluğu 96 kg/m³'tür. Gates ; evsel atıklardaki organik maddelerin %50 karbonhidrat, %40 azotlu madde ve %10 yağ içerdiğini belirtmektedir [55].

Şehir çöplerinin çoğu yüksek oranda yanabilen sıvı ve katı atık içeren kuru temel üzerinden %80'e varan organik atıklardan oluşmaktadır. Bu çöpler daha yüksek oranda oksijen ve nem içermesinin dışında bileşimce kömür cinsi yakıtlara benzer ve çoğu kömürden daha düşük oranda kükürt ve kül içerirler. Bu çöplerin toplanarak toprak altında yok edilmesi belediyelere yüklü bir maliyet getirmekte bu sebeple çöplerin kullanışlı yakıtlara dönüştürülmesinin üzerinde durulmaktadır. Günümüzde birçok şehir atığı toprak altında bozundurulmakta ve toprak altında

kalan bu atıkların doğal olarak uğradıkları anaerobik bozunma sonucunda metanca zengin gaz elde edilmektedir [56].

Çöplerin birikmesini izleyen çürümeyle birlikte kimyasal ve bakteriyel işlemler başlamakta ve organik çöp malzemeleri dönüşüme uğrayarak çöpler parçalanmaktadır. Bu işlem çöp hacminin küçülmesine yol açmaktadır ve işlem sonucunda bir biyogaz türü olan çöplük gazı oluşmaktadır. Çöplük gazı ; metan, karbondioksit ve azottan oluşan bir gaz karışımıdır. Bir ton çöpten 15-20 yıllık bir süreçte 150-200 Nm³ çöplük gazı elde edilmektedir [53].

Gazların toplanabilmesi için çöplükte istifleme sırasında yatay ve çöplük toprak ile kapatıldıktan sonra ise dikey gaz toplama kuyuları öngörülmektedir. Farklı yatay ve dikey kuyulara ait gazların karışmasından dolayı homojen bir gaz karışımı elde edilmektedir. Emilen gazın sıcaklığı yaklaşık 20-45⁰C olup bileşimi %40-50 CH₄, %35-40 CO₂ ve %5-10 N₂'den oluşmaktadır. Gazın alt ısıl değeri ise 14400 kJ/N.m³'tür. Ana bileşenlerin yanında çöplük gazları ; mikrobiyolojik oluşumlarda oluşan hidrojen sülfür ve amonyak ile spreylere ve soğutuculardan geriye kalan hidroklorokarbon ve hidroflorokarbon gibi gazları da içermektedirler. Aktif karbon filtrelerle hidroklorokarbon gazlarının ayrıştırılması sağlanabilmektedir [53].

Doğanın korunması için çöplük gazlarının yakılması zorunludur. Bu bir gaz yakma bacasında, kazanda, bir gaz motorunda veya bu üçünün kombinasyonundan oluşan bir sistemde gerçekleştirilebilmektedir. Çöp gazlarının gaz yakma bacasında yakılması, enerjinin imha edilmesi anlamına gelmektedir ki bu pek mantıklı bir çözüm değildir. Gazların kazanlarda yakılması da pek geçerli bir çözüm değildir. Kıvılcım ateşlemeli (otto) gaz motoru aracılığı ile çöplükte elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Elektrik hem ısıdan daha değerli bir enerjidir, hem de kolayca uzak mesafelere taşınabilmektedir [53].

Şehirsiz atıkların önemli bir kısmını kanalizasyon atıkları oluşturmaktadır. Organik madde, azotlu bileşikler ve diğer iz elementlerini içeren kanalizasyon atıklarının filtre edilerek suyu uzaklaştırıldıktan sonra biyokütle enerjisi kaynağı olarak kullanılabilir. Organik maddeler kanalizasyon atıklarının %50-70'ini oluşturur, ayrıca yaklaşık %2 azot, %4 P₂O₅, %0.5 K₂O ve kadmiyum, kurşun,

bakır, çinko gibi iz elementlerini de içermektedirler. Ham kanalizasyon atıklarının kuru temelde enerji içeriği yaklaşık 16284 kJ/kg'dır [57].

Sanayi atıkları ise işleme, paketleme, taşıma, pazarlama işlemleri sırasında ortaya çıkan atıkları içerir. Uygulanan yöntem, işlenen maddenin miktarı ve çeşidi çok fazla çeşitlilik gösterdiğinden sanayi atıklarının bileşimleri birbirinde tamamıyla farklı olabilmektedir. Sanayi atıkları seramik atıklarından kauçuk, metal, kağıt/karton, plastik ve tekstil atıklarına kadar geniş bir yelpazede olabilmektedir. Minimum % 40 oranında organik madde içeren sanayi atıklarından yıllık 60 milyon ton organik katı atık elde edilmektedir [58].

3.3. Biyokütle Potansiyeli

Yenilenebilir enerji kaynakları biyokütlenin fotosentezi yoluyla sağlanan sabit karbon kaynaklarıdır. Dünya üzerindeki bitkilerin fotosentez yoluyla oluşturdukları karbon miktarının 2.10^{11} ton/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Teorik olarak hesaplandığında bu enerji kaynağı dünya enerji ihtiyacının 10 katını besin ihtiyacının ise 100 katını karşılayabilecek değerdedir [59].

Dünya enerji tüketiminin %14'ü biyokütleden sağlanmakta olup, bu oran gelişmiş ülkelerde %50'ye kadar çıkabilmektedir [37]. Ticari biyokütle atıklarını odun, tarımsal atıklar ve belediye katı atıkları gibi atıklar içermektedir [30]. Hayvansal atıklar, gıda işleme atıkları, enerji bitkileri ve suda yetişen bitkilerin oluşturduğu biyokütle kaynakları ticari olmayan kaynaklar olarak görülmektedir. Biyokütlenin dünyadaki yıllık üretiminin ise 10^{11} - 10^{12} ton arasında olduğu tahmin edilmektedir [3-50].

Biyokütleyle uygulanan biyokimyasal ve termokimyasal yöntemlerle orjinal maddenin enerji içeriğinden daha yoğun bir enerji içeriğine sahip sıvı ve gaz yakıtlar elde edilebilmektedir.

Biyokütle enerji dönüşüm sistemlerinde net enerji üretimi de sağlanır. Enerji çıkışı/enerji giriş oranı mısır ve benzer türdeki bitkilerde 5/1, 40/1-150/1 olarak tahmin edilmektedir.

Sanayileşmiş ülkelerde, biyokütle enerjisinin birincil enerji kaynakları içerisindeki kullanım payı %3'ün altındadır, ancak bu oran giderek artmaktadır.

Bu oran Finlandiya’da %15, İsveç’te %9, ABD’de %4, eski SSCB’de %3-4’tür. Gelişmekte olan ülkelerde biyokütle enerjisinin enerji kaynakları arasındaki kullanım payı daha yüksektir. Nepal’de %95, Kenya’da %75, Hindistan’da %50, Çin’de %33, Brezilya’da %25, Mısır ve Fas’ta %20 oranında enerji biyokütleden elde edilmektedir [60]. Brezilya, Kenya, Filipinler, ABD ve Zimbabve gibi ülkelerde biyokütleden elde edilen alkol ulaşım sektöründe kullanılmaktadır. Özellikle ABD ve Brezilya’da 1981’den bu yana uygulanan biyokütleden etanol üretim endüstrisi çok gelişmiştir. Bu endüstri, mısır fabrikalarında kurulmuş ; mısır yağı, hayvan yemi ve etanol üretimini içermektedir [53].

Avrupa ülkeleri 2000 yılına kadar yıllık yaklaşık $3,78.10^2$ GJ’lük kullanılabilir enerjiye dönüşebilecek biyokütle potansiyeline sahiptir [36]. ABD’de ise 2000’li yıllarda enerji üretiminde toplam biyokütle potansiyelinin yaklaşık olarak 700 milyon ton olacağı tahmin edilmektedir [61]. Güney Afrika ülkelerinde ise nüfusun büyük bir çoğunluğu ile orta yada küçük ölçekteki sanayi kuruluşları enerji gereksinimlerinin büyük çoğunluğunu biyokütleden karşılamaktadır [46].

Ülkemizde ise biyokütle kaynakları içinde yer alan odun, hayvan ve bitki atıkları toplam olarak ülkemiz birincil enerji tüketiminin %10’unu ve konutlardaki enerji tüketiminin %40’ını oluşturmaktadır [20].

Türkiye’de biyokütle nitelikli kaynak olarak hala odun ve tezek kullanılmaktadır. Ülkemizin pek çok yöresinde selüloz ve lignince zengin olduğu için hayvan yemi olarak kullanılamayan tarımsal atıklarla, tarımsal ürünleri işleme tesislerinde oluşan atıkların değerlendirilmesi için çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Odunun yakıt olarak tüketilmesiyle çevresel bozunmaların yanı sıra önemli bir sanayi ham maddesi yakılarak yok edilmektedir. “Enerji Ormanları” bu durumun önlenmesi için uygulanabilecek çözüm önerilerinden biridir. Ülkemizde 4 milyon hektar bozuk, 1 milyon hektar verimli olmak üzere 5 milyon hektar enerji ormanı alanı vardır. Çizelge 3.5’te ülkemizde enerji ormanlarından elde edilebilecek odun üretim tahminleri [62], Çizelge 3.6’da da enerji ormanı olarak yetiştirilen bazı ağaç türlerinin enerji değerleri [63] verilmiştir.

Türkiye tahıl üretiminde dünyada ki tahıl üreticisi ülkeler arasında dokuzuncu sırada yer almaktadır. Tahıl saplarının ısı değeri iyi kalitede kömürün ısı değerinin yaklaşık yarısına eşdeğerdir. Üretilen her kilogram buğdaya karşılık

Çizelge 3.5 Enerji ormanlarından elde edilebilecek odun üretim tahminleri [62]

Yıllar	Enerji Ormanlarından Odun Üretimi (1000 Ton)
1991	250
1993	1000
1995	4500
1997	8549
1999	8726
2000	8820
2005	9000
2010	10000

Çizelge 3.6 Enerji ormanı olarak yetiştirilen bazı ağaç türlerinin enerji değerleri [63]

Ağaç Türü	Enerji İçeriği(GJ/kuru madde)
Dişbudak ağacı	20.7
Kayın ağacı	22.09
Kavak	12.96-19.9
Çınar	13.4
Çam	12.75

elde edilen buğday sapının verimi 1.5-4 kg arasında değişmektedir. Buğday saplarının enerji eşdeğeri $9.2 \cdot 10^{10}$ kWh/yıl'a eşdeğerdir. Bu enerji değeri Türkiye'nin yılda tükettiği toplam eşdeğerinin üç katı kadardır ki bu bize enerji açısından dışa bağımlı olan ülkemiz için lignoselülozik kaynakların değerlendirilmesinin önemini göstermektedir [64].

Ülkemizde yetişen pamuğun ise birim alanda elde edilen ortalama verimi 540 kg/dekar'dır. Ülkemizde mevcut pamuk üretimi dikkate alındığında 324 milyon ton/yıl pamuk sapının enerji eşdeğeri $5.93 \cdot 10^{12}$ MW/yıl dolayındadır. Bu değer yılda iki milyon ton taşkömürüne eşdeğerdir.

45 ton/hm² yıl gibi yüksek hasat verimine sahip olan ve yıllık olarak yetiştirilen kenaf, ayçiçeği gibi bitkilerin yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi önerilmektedir [65].

Hayvansal atıkların oksijensiz ortamda fermantasyonu ile üretilen "biyogaz" potansiyelinin ülkemiz için 2.8-3.9 milyar m³ olup, bu potansiyelin petrol

eşdeğerinin 1.4-2 milyon TEP olarak belirlenmiştir [53]. Bunun enerji eşdeğerinin ise yaklaşık olarak yılda 24.5 milyon kWh'tır [60]. Diğer taraftan hayvan gübrelerinin biyogaz tesislerinde değerlendirilmesi sonucu elde edilecek biyogübrenin kimyevi gübre karşılığı toplam 2792000 ton/yıl'a ulaşmaktadır [53]. Çizelge 3.7'de ülkemizde ki tezek ve bitki atıkları üretimi verilmiştir [62].

Çöplerin depolanması sonucu bozunmasıyla ortaya çıkan %60 oranında metan ihtiva eden çöp gazı önemli bir enerji kaynağıdır. Avrupa'nın pek çok ülkesinde kurulan tesislerle değerlendirilmektedir, ülkemizde de bu yönde çalışmalar yapılmaktadır [20].

Çizelge 3.7 Tezek ve bitki atıkları üretimi [62]

Yıllar	Tezek(Bin ton)	Bitki atıkları (Bin ton)	Toplam(Bin ton)
1980	11639	1200	12839
1985	9608	1431	11039
1990	8880	2200	11080
1991	8705	2295	11000
1992	8608	2314	10922
1993	8470	2372	10842

Ülkemiz tarımsal atıkları 9.5 milyon ton petrol eşdeğeri olarak OECD ülkeleri arasında dördüncü sırada, atıkların geri kazanılabilir enerji potansiyeli açısından ise 5.4 milyon ton petrol eşdeğeri ile ikinci sırada yer almaktadır [58].

Enerji açısından dışa bağımlı olan ülkemiz de yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle önemli bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin daha etkin değerlendirilmesi yönünde çalışmalara hız verilmesi gerekmektedir.

4. BİYOKÜTLEYE UYGULANAN DÖNÜŞÜM SÜREÇLERİ

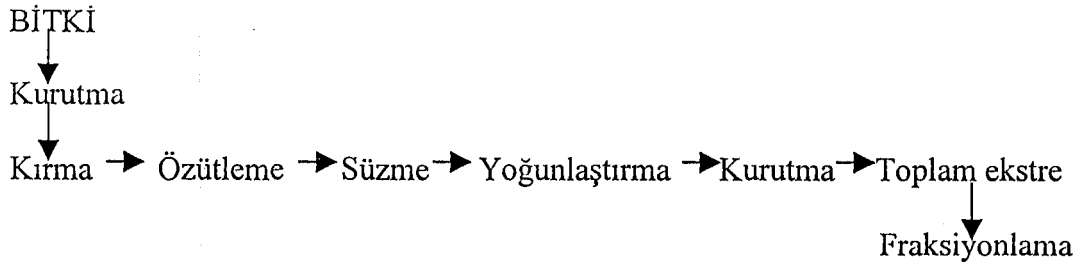
Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle enerji elde edilmesi amacıyla doğrudan yakma yöntemi ile kullanılabileceği gibi fiziksel, biyolojik ve ısıl süreçler kullanılarak daha kullanışlı ve değerli katı, sıvı, gaz yakıtlara yada endüstriyel kullanımı olan ürünlere de dönüştürülerek kullanılabilir. Çizelge 4.1'de biyokütleyle uygulanan dönüşüm süreçleri verilmiştir [66].

Çizelge 4.1. Biyokütleyle uygulanan dönüşüm süreçleri [66]

Ürün	Proses	Besleme özelliği	Besleme tipi	Durum
Isı	Direk yanma	Kuru	Odun	1
	Aerobik parçalanma	Yaş	Hayvansal atık	
Katı yakıtlar	Piroliz	Kuru	Odun	3
Gaz yakıtlar	Anaerobik parçalanma	Yaş	Hay./yeşil ekin atık.	1
	Hava gazlaştırma	Kuru	Odun yada kuru ekin Atıkları	1
	Hidrojen gazlaştırma	Kuru	Odun	1
	Oksijen gazlaştırma	Kuru	Odun	1
Sıvı yakıtlar	Piroliz	Kuru	Odun	1
	Direk sıvılaştırma	Kuru/ıslak	Odun atıkları	4
	Fermantasyon	Yüksek şeker iç.	Şeker kamışı	1
	+ hidroliz	Niştastalı	Hububat	1
	+ kuvvetli hidroliz	Selülozik/ Lignoselülozik	Odun yada kuru ekin atık. Kuru ekin atıkları	4
	Selülozik fermantasyon	Selülozik	Yağlı hurma, ayçiçek	4
	Yağ estraksiyonu	Ağır yağ içeriği	Euphorbiaceae	2
	Hidrokarbon ekst.	Kompleks hidrokarbon içeriği		2
1= Düşük ve orta besleme maliyetli teknoloji, 2 = Yüksek besleme maliyetli teknoloji, 3 = Düşük ısıtma seviyeli teknoloji 4 = Deneysel				

4.1. Fiziksel Süreçler

Genel olarak bir bitkinin işlenmesinde gerekli temel işlemler Şekil 4.1'de şematik olarak gösterildiği gibi boyut küçültme (kıрма öğütme), özütleme, süzme, yoğunlaştırma (deriştirme) ve fraksiyonlamadır [67].



Şekil 4.1. Bitkilerin işlenmesinde gerekli temel işlemler

4.1.1. Kurutma

Kurutma, biyokütleden suyun uzaklaştırılması işlemidir. En ucuz ve yaygın kurutma yöntemi açık havada yapılan kurutma işlemidir. Ancak açık havada kurutma yeterli olmazsa, püskürtmeli kurutucular ve sıcak hava akımlı fırınlar gibi başka kurutucularda kullanılabilir.

4.1.2. Briketleme

Biyokütlenin çeşitli yöntemler kullanılarak briketlenmesiyle, katı yakıt olarak tüketime hazırlanmasıdır.

4.1.3. Parçacık boyutunun küçültülmesi

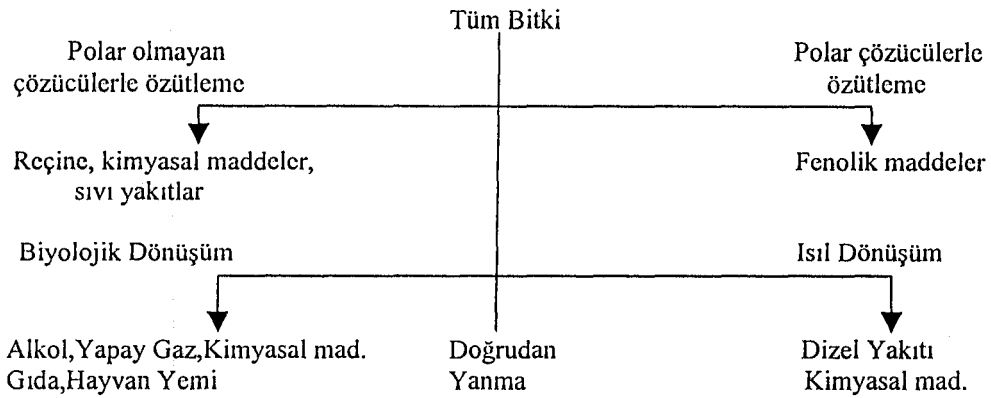
Parçacık boyutunun küçültülmesi, biyokütlenin doğrudan yakıt olarak kullanımı, fabrikasyon olarak briketlenmesi, dönüşüm süreçleri, depolama ve yükleme işlemleri için önemlidir. Biyokütlenin son parçacık boyutu, ona uygulanacak dönüşüm sürecine de bağlıdır.

4.1.4. Özütleme-ayırma

Özütleme, damıtma ve kristalizasyon işlemleri biyokütle ayırma süreçlerine örnek olarak verilebilir. Bitkilere uygulanan özütleme işlemiyle polar olmayan

çözücülerle reçineler, kimyasal yakıtlar ve sıvı yakıtlar, polar çözücülerle fenolik maddeler elde edilebilir.

Özütleme işlemi atığı bitki küspesinden, doğrudan yakmayla enerji elde edilebileceği gibi biyolojik ve ısı dönüşümleriyle alkol, kimyasal maddeler, hayvan yemi, yapay gaz gibi ürünlerde elde edilebilir. Şekil 4.2’de biyokütleden elde edilen ürünler şematik olarak gösterilmiştir [68].



Şekil 4.2. Biyokütleden elde edilen ürünler [68]

4.2. Biyolojik ve Biyokimyasal Süreçler

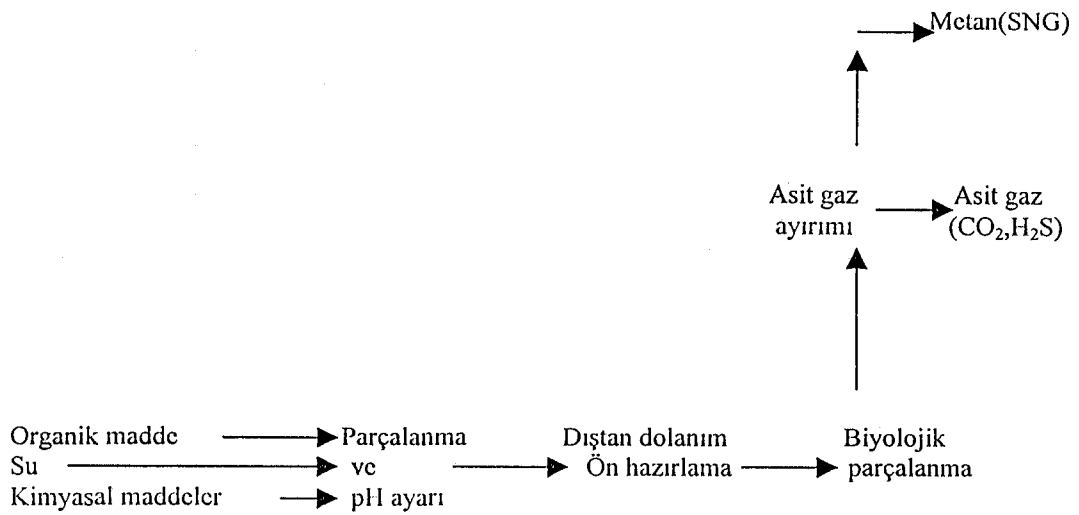
Bitkilere uygulanan biyolojik ve biyokimyasal süreçler ; biyolojik süreçler, fermentasyon ve biyofotolizdir.

4.2.1 Biyolojik süreçler

Biyolojik süreçler aerobik ve anaerobik parçalanma olarak iki grupta incelenebilir. Aerobik bozunma geleneksel olarak gübre üretimi ve kirliliği azaltmada, hayvansal atıklarla, orman atıkları gibi maddelerin işleme sürecinde kullanılabilir. Ancak bu tip bozunma ile düşük enerji elde edilir. Aerobik bozunma ile biyokütle hammaddesi olarak kullanılan bitkisel ve hayvansal atıklar ile metan ve karbondioksit karışımı olan biyogaz üretilmektedir. Aerobik bozunma sonucu elde edilen biyogazın kalitesi ve verimi kullanılan hammaddenin tipine, bozunma sıcaklığına ve kalış süresine bağlıdır. Bu süreçte kullanılan

hammadeler için genellikle ön işleme gerek duyulmaz. Bazı hammaddelerden elde edilen biyogaz %50'ye kadar CO₂ ve yakıt olarak kullanımdan önce uzaklaştırılması gereken H₂S gibi gazları içerir. İnsan ve hayvan atıklarını hammadde olarak kullanan basit biyogaz tesisleri geliştirilmiş ve bu tesislerden Hindistan ve Çin'de pek çok sayıda kurulmuştur [66].

Metan gazının, biyokütlenin sudaki bulamacından oksijensiz ortamda elde edildiği süreç, kanalizasyon atıklarından yakıt üretilmesi içinde kullanılmaktadır. Organik maddelerden metan gazının elde edildiği sürecin akım şeması Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Biyokimyasal parçalanma ile metan gazı eldesi [48]

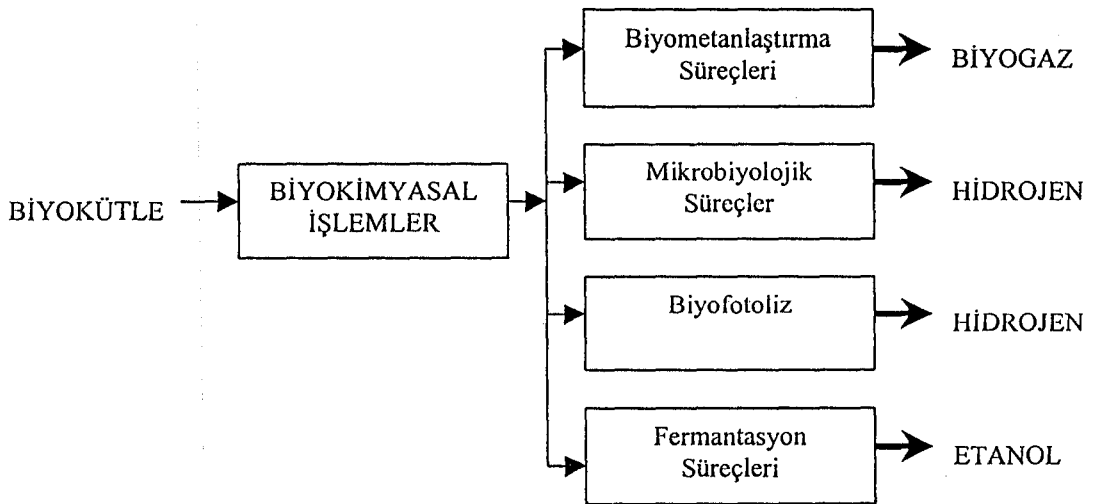
4.2.2. Fermantasyonla alkol eldesi

Fermantasyonla alkol ve buna bağlı olarakta yakıt eldesi biyokütlenin en yaygın kullanıldığı alanlardan birisidir. Geleneksel fermantasyonda yüksek şeker içerikli olan veya tahıllardaki nişasta gibi kolay hidroliz olan karbonhidratları içeren hammaddeler kullanılır. Fermantasyonda kullanılan bitkilerden başlıcaları şeker kamışı, tatlı sorghum, şeker kamışı ve ananastır. Mısır, buğday, patates, cavasa (bir tür euphorbia) gibi nişasta içeren hammaddelerde nişastalarını şekere çevirmek için enzimli yada asitli hidrolize girerek kullanılabilirler. Orman atıkları gibi selülozik ve lignoselülozik hammaddelerin ise daha güçlü ön işlemlere

girmeleri gerekir. Uygun bakteri kullanarak selülozu doğrudan etanol ve asetik asite dönüştürmek mümkündür [66].

Fermantasyonla elde edilen alkolün önemli bir kullanım şekli petrokimya endüstrisinin önemli bir hammaddesi olan etilene dönüştürülmesidir. Etanol dehidratasyonu olarak bilinen yöntemde alkol alüminyum oksit üzerinden geçirilerek etilen elde edilir. Yani petrolün krakingi ile elde edilen etilen biyokütleden hareketle de elde edilebilir.

Bitkilerden yakıt üretimi konusundaki bir diğer gelişmede ayçiçek, soya, kolza (kanola) gibi bitkisel yağların esterleşme yöntemi ile dizel yakıt alternatifi olarak kullanılmasıdır. Bu yöntemde genellikle trigliserit olan ve yakıt olarak doğrudan kullanılmayan bitkisel yağlar asit katalizörü eşliğinde bir monohidrik alkolle (metanol, etanol vb.) gliserin ve yağ asidi esteri oluşturur. Birbirinden kolaylıkla ayrılabilen bu iki maddeden ester ürün yakıt olarak kullanılabilir [69]. Biyokütleden biyokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Biyokütleden biyokimyasal dönüşüm süreçleri ile biyoyakıtlara geçiş [70]

4.2.3. Biyofotoliz

Işık enerjisi kullanılarak suyun oksijen ve hidrojene bozunması, yeşil bitkilerde ve yosunlarda biyofotoliz olarak adlandırılır. Ancak bu konuda laboratuvar ölçeğindeki çalışmalar dışında bir uygulama gerçekleştirilememiştir.

4.3. Isıl Süreçler

Isıl süreçler, biyokütlenin sıvı, katı ve gaz ürünlere dönüştürülmesi amacıyla uygulanan yanma, gazlaştırma, sıvılaştırma ve piroliz şeklinde sınıflandırılabilen proseslerdir. Bu süreçlerden elde edilen ve biyokütleyle oranla daha kullanılabilir ve değerli olan birincil ürünler istenilirse, ikincil yakıtlara ve kimyasal yakıtlara dönüştürülebilir. Isıl süreçler için sıcaklık, ısıtma hızı, uygulanan sürecin tipi ve özellikleri temel parametrelerdir.

Piroliz, sıvılaştırma ve gazlaştırma proseslerinin ana özellikleri Çizelge 4.2'de, birincil ısıl dönüşüm ürünleri ve teknolojileri Çizelge 4.3'de, ikincil ürünler ve dönüşüm teknolojileri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Isıl süreçlerden elde edilen birincil ürünler kullanılan dönüşüm sürecine bağlı olarak gaz, sıvı veya katı (char) olabilir. Biyokütle ve biyokütleden elde edilen yan ürünlerin enerji ve yoğunluk karakteristikleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Birincil piroliz ürünlerinden char çok kararludur ve yapısal olarak bozunmaz ve gelişmiş ülkelerde metalurji endüstrisinde kullanımı mevcuttur. Sıvı ürün elementel bileşimi biyokütleyle benzeyen ve oksijenlenmiş hidrokarbonların çok karmaşık bir karışımından oluşmaktadır ve genellikle oil veya bio-oil olarak adlandırılır. Doğru olarak depolandığında oldukça kararlı bir yapıya sahip olan sıvı ürün iyileştirme işlemleri sonucunda hidrokarbon yakıtlara dönüştürülebilir. Su, besleme olarak kullanılan biyokütledeki nemden ve aynı zamanda pirolizden bir reaksiyon ürünü olarak oluşmaktadır. Gaz, işletme içinde veya dışında güç üretimi için kullanılabilen orta ısıl değerli yakıt gazıdır ve CO, CO₂, H₂, CH₄ içerir. Gaz ürün metanol ve benzin gibi daha yüksek değerli ürünlere fiziksel ve kimyasal olarak yükseltgenbilir.

İkincil ürünler ise hidrokarbon taşıt yakıtları, oksijenlendirilmiş taşıt yakıtları, hidrojen ve amonyak içeren kimyasallar ve spesifik kimyasalların üretiminde kullanılır.

Çizelge 4.2. Termokimyasal dönüşüm teknolojilerinin özellikleri [71]

	Yavaş Piroliz	Flash Piroliz	Sıvılaştırma	Gazlaştırma
HAMMADDE				
Besleme boyutu	Önemsiz	Küçük	Küçük	Karışık-büyük
Nem içeriği	Düşük	Çok düşük	Çok düşük	Maksimum %50
PARAMETRELER				
Sıcaklık, °C	500-700	500-900	250-350	800-1500
Basınç, bar	0.1-1	1	100-200	Maksimum 30
Maksimum besleme hızı, t/h	5	0.05	0.1	20
ÜRÜNLER				
Gaz Verim, ağırlıkça				
% kuru besleme	Max 40	Max 70	20	100-250
Isıl değer, MJ/Nm ³	5-10	10-20	2-6	5-15
Sıvı Verim, ağırlıkça				
% kuru besleme	Max 30	Max 70	Max 50	Max 5
Isıl değer, MJ/Nm ³	22	22	27	22
Katı Verim, ağırlıkça				
% kuru besleme	30	Max 20	Max 25	İhmal edilebilir(kül)
Isıl değer, MJ/Nm ³	30	30	30	-----

Çizelge 4.3. Birincil termokimyasal dönüşüm ürünleri ve teknolojileri [71]

Ürün	Oluşum	Bileşenler	Dönüşüm Yöntemi
Yakıt gazı	DİD(Düşük ısı değerli) gazlar OİD (Orta ısı değerli)gazlar	CO,H ₂ ,CO ₂ ,CH ₄ ,N ₂ CO,H ₂ ,CO ₂ ,CH ₄ ,yüksek hidrokarbonlar	Piroliz, hava gazlaştırma Piroliz, O ₂ gazlaştırma
Sıvı	Sentetik sıvı yakıt Katı-sıvı bulamaç Katı-su bulamaç	Suda çözünmeyen yüksek kaynama noktalı O ₂ 'li bileşikler Aktif karbon ve sıvı ürün Aktif karbon, su ve dengeleyici (Stabilizer)	Piroliz, sıvılaştırma Piroliz Piroliz
Sulu çözelti	Atık su	Suda çözünebilen düşük kaynama noktalı O ₂ 'li Bileşikler(Asetik asit gibi)	Piroliz, sıvılaştırma, gazlaştırma
Katı	Aktif karbon		Piroliz
Isı	Sıcak gaz		Yanma

Çizelge 4.4. İkincil ürünler ve dönüşüm teknolojileri [71]

İkincil Ürünler	Dönüşüm Yöntemleri	Proses
Oksijenli yakıtlar Metanol Yakıt alkol	Gazlaştırma Gazlaştırma	Sentez Sentez
Hidrokarbon yakıtları Benzin	Piroliz Piroliz Sıvılaştırma Metanol ile gazlaştırma	Hidrojenlenme Zeolitler Hidrojenlenme MTG
Dizel	Piroliz Piroliz Sıvılaştırma Metanol ile gazlaştırma	Hidrojenlenme Zeolit+MOGD Hidrojenlenme MOGD
Fuel-oil	Piroliz Sıvılaştırma	Stabilizasyon Stabilizasyon
Güç Güç	Piroliz Gazlaştırma	Türbin Motor veya türbin
Kimyasallar Amonyak Spesifik kimyasallar	Gazlaştırma Piroliz Sıvılaştırma	Sentez Ekstraksiyon ve/veya dönüşüm

Çizelge 4.5. Biyokütle ve biyokütleden elde edilen yan ürünlerin enerji ve yoğunluk karakteristikleri [71]

Besleme	Yığın Yoğunluğu(Yaklaşık)	Kuru Temelde	Enerji Yoğunluğu(GJ/m ³)
Saman	1000	20	2
Odun parçacıkları	400	20	8
Piroliz sıvısı	1200	25	30
Katı ürün	300	30	9
Katı-sıvı bulamacı(50/50)	1000	15	15
Katı-oil bulamacı(20/80)	1150	23	26

4.3.1. Yanma

Doğrudan yanma, biyokütlenin kendisinin yakıt olarak kullanıldığı ve dünya nüfusunun yarısından fazlası için başlıca enerji kaynağı olan biyokütleden

geleneksel yolla enerji üretim şeklidir [72]. Doğrudan yanma sisteminin verimliliği, biyokütlenin içerdiği neme, yanmanın tamamlanmasına ve kullanılacağı yere iletilen ısının verimine bağlıdır.

Doğrudan yanma için hammadde olarak kullanılan biyokütlenin kuru (>%85 kuru madde) olması gerekmektedir. Daha fazla nem içeren maddelerde yanabilir, ancak üretilen enerjinin bir kısmı nemi buharlaştırmak için kullanılacağından ve yanma tam olarak tamamlanamayacağından yanmanın verimliliği azalacaktır [66].

Doğrudan yanmada ucuz hammaddeler kullanılmalıdır. Örneğin şeker kamışından elde edilen küspe, şeker üretimi için ısı sağlamada, tarımsal kalıntıları kurutmada veya etanol üretiminde kullanılabilir [66]. Yanma cihazlarının büyük bölümü açık fırın ve basit sobalardan oluşmaktaysa da geniş ölçekli akışkan yatak fırınlarına kadar değişen çeşitlilikte cihazlarda kullanılmaktadır.

Biyokütlenin doğrudan yakma prosesinde kullanılmasında ki en büyük dezavantaj, fosil yakıtlar ile karşılaştırıldığında enerji yoğunluğunun düşük olmasıdır. Örneğin odunun enerji yoğunluğu olan 186 j/ton, kömürün enerji yoğunluğu olan 306 j/ton ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Ancak biyokütlenin ikincil yakıtlarla birlikte kullanılması yada kömürle birlikte yakılması kükürtdioksit emisyonlarını azaltacaktır [66].

4.3.2. Gazlaştırma

Gazlaştırma, gaz ürün veriminin önemli olduğu ısıl dönüşüm sürecidir ve düşük enerji gazları veren hava gazlaştırması, sentetik gaz üreten oksijen gazlaştırması ve sentetik doğal gaz üretimi için kullanılan hidrojen gazlaştırması olmak üzere üç alt başlıkta incelenebilecek ısıl dönüşüm süreçlerini içerir. Gazlaştırma için genellikle odun ve tahıl atıkları gibi selüloz içerikli hammaddeler kullanılır. Daha yaş maddeler içinde prosesler geliştirilmiş olmasına rağmen doğrudan yanmada olduğu gibi genellikle hammaddenin kuru olması gerekir [66]. Ancak sentetik gaz verimi hammaddedeki nem miktarı ile arttığından oksijen gazlaştırmada diğer gazlaştırma proseslerine göre daha nemli hammaddeler kullanılmalıdır.

Hava gazlaştırma işleminden elde edilen düşük enerjili gazlar genellikle ısı ve elektrik üretimi için kullanılır. Yüksek basınçlara gereksinim duyan oksijen gazlaştırma prosesi metanol üretimi için kullanılır. Bu proseste oksijen yerine hava kullanıldığında daha düşük ısı değere sahip gaz ürün elde edilir ki bu ürün metanol ve sentetik gaz üretimi için uygun değildir.

Gazlaştırma işlemi için gazlaştırma ortamı, (buhar, hava, buhar+O₂, buhar+seyreltici gazı geri döngüleri, N₂, H₂, CO₂) kullanılan hammaddenin türü, yapısı, nemi, parçacık boyutu, gazlaştırma prosesinin basınç ve sıcaklık değerleri, ısıtma hızı, katalizör kullanılıp kullanılmadığı ürün dağılımı ve verimi üzerinde etkili parametrelerdir [73].

Önemli gazlaştırıcı tipleri hareketli yatak gazlaştırıcıları, akışkan yataklı gazlaştırıcılar, zıt akımlı basınçlı gazlaştırıcılar ve siklonik gazlaştırıcılarıdır.

Biyokütlenin gazlaştırılması ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Odun, hindistan cevizi atıkları ve pamuk sapları Downdraft gazlaştırıcıda gazlaştırılmıştır. Bu çalışmada odun için 29 kg/saat, pamuk sapları için 26.3 kg/saat, hindistan cevizi atıkları için 28.7 kg/saat besleme hızları ile odun için 1.79, pamuk sapları için 2.17, hindistan cevizi atıkları için 1.89 hava/yakıt oranlarında çalışmalar yapılmıştır. Gazlaştırma işlemi 1000-975-907 °C sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen gaz akış hızları 68.3, 66.6, 71.4 Nm³/saat olarak, kalorifik değerleride 5.21, 4.23, 5.11 MJ/Nm³ olarak elde edilmiştir [74].

Çam kabuklarından elde edilen charın buhar ortamında gazlaştırılmasında K₂CO₃ katalizör olarak kullanılmış ve katalizörün gaz ürün veriminin artmasını sağladığı gözlemlenmiştir [75].

Badem kabuklarının gazlaştırılmasında Ni, Co, Fe katalizörlerinin etkisi incelenmiş ve Ni, Co katalizörlerinin Fe katalizöründen daha etkin olduğu belirlenmiştir [76].

Sirkülasyonlu akışkan yatakta (CFB), gazlaştırma prosesi kullanılarak biyokütleden elde edilen gaz ürünün yakıt olarak kullanılabilirliği incelenmiş ve kullanılan prosesin gaz ürünle katranın birbirinden tamamen ayrılabilmesi, farklı partikül boyutlarında çalışabilmesi, ilk yatırım maliyetinin düşük olması ve

kullanılan ekipmanın oldukça basit olması gibi avantajlara sahip olduğu belirlenmiştir [77].

Ticari olarak kullanılan "Biomass-integrated gasification combined cycle (B-IGCC)" sistemleri ile biyokütle ve atıklardan çevreye çok daha az zarar vererek elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Biyokütle atıkları hava ile sirküle edilerek akışkan yatakta (CFB) gazlaştırma yöntemiyle düşük kalorifik değerli gaza dönüştürülür, gazlaştırıcı atmosferik basınçta çalışmaktadır. Üretilen gaz "cracker" da katranından temizlendikten sonra , ikinci CFB operasyonu yatak malzemesi olarak dolamitin kullanıldığı hafifçe yükseltilmiş bir sıcaklıkta gerçekleştirilir. Crackerdan ayrılan akım çanta filtrelerden geçirilerek temizlenir ve son temizleme işlemleri öncesinde soğutma işlemine tabi tutulur. Gaz soğutma adımları süresince uzaklaştırılan ısı, buhar ısıtması ve kaynatıcı besleme suyunun ön ısıtması işlemlerinde tekrar kullanılır. Son temizleme kademesinde yoğunlaşmayan katran artıkları, su buharı, amonyak ve alkali metal kalıntılarını gidermek için seyreltilmiş sülfürik asit kullanılarak scrubbing işlemi yapılır. Sonuçta elde edilen temiz gaz iki akıma bölünerek kombine çevrim üretim alanına beslenir. Ana gaz akımı basınçlandırılarak Typhoon gaz türbinine beslenir, diğer akım ise sisteme gerekli enerjiyi sağlamak için kullanılır. Büyük ölçekli, kömür kullanan güç fabrikalarıyla karşılaştırıldığında ; kömürden aynı miktar elektrik üretiminde ortaya çıkan net karbon emisyonunun 1/20'si oranında karbon emisyonu üretmektedir.

4.3.3. Sıvılaştırma

Biyokütlenin sıvılaştırılması, biyokütleden kimyasal maddeler ve sıvı yakıt üretimi için basınç altında ve katalizör kullanılarak hammaddenin ısıtılmasıdır. Sıvılaştırma yöntemi kullanılarak biyokütleden basınç, yüksek sıcaklık, sulu ortam ve katalizörün en uygun olduğu koşullarda %2-10 gaz, %40 sıvı ürün ve %5-10 katı ürün elde edilebileceği literatürde belirtilmektedir.

Endüstrileşmiş ülkelerin geleceğinde biyokütleden elde edilen sıvı yakıtların önemli bir rol oynayacağı kabul edilmektedir. Bu yakıtlar bir çok avantaja sahiptir. Örneğin sıvı hidrokarbon ürünleri ham petrolden üretilen hidrokarbon

yakıtlarının yerini alabilmektedir. Oksijen uzaklaştırılması, sıvılaştırma ve saflaştırma basamaklarında H/C oranının ayarlanması sonucunda diğer yakıtların yerini alabileceklerdir [78].

Biyokütlenin direkt sıvılaştırılması yada piroliz sonucu elde edilen sıvı ürünün oksijen içeriğinin yüksek olduğu ve %19-30 arasında değiştiği çalışmalarla belirlenmiştir. Sıvı ürünlerde oksijen içeriğinin %10'dan fazla olması durumunda sıvı ürünün hidrojenlenmesi ile dizel yakıtına eşdeğer yakıtın elde edilebileceği gösterilmiştir [79]. Ayrıca yapılan bir çok çalışmada, sıvılaştırma ile elde edilen sıvı ürünlerde fenolik bileşiklerin bulunduğu belirlenmiştir. Katalitik hidrojen ortamında sıvılaştırma ile elde edilen sıvı üründe oksijenin bulunmadığı, küçük molekül ağırlıklı hidrokarbon türü sıvı yakıt üretilebileceği görülmüştür [80-81].

Yapılan bir diğer çalışmada pamuk saplarının sıvılaştırılarak sıvı yakıt üretimi için dönüşüm koşulları incelenmiştir. Çalışmada pamuk saplarının sulu karışımına çeşitli derişimlerde NaOH ve asetik asit ilavesiyle farklı sıcaklıklarda N₂ gazı ortamında oktoklavda sıvılaştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Ogi ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada suyun içinde süspansiyon halinde dağılmış talaş, K₂CO₃ varlığında doğrudan sıvılaştırılmıştır. 2 Mpa basınçta ve argon varlığında 300⁰C'de ve odun/katalizör/su oranları sırasıyla 5/0.1-0.3/30 olacak şekilde anında sıvılaştırılıp en yüksek verimi elde etmişlerdir [82].

Yapılan bir diğer çalışmada suyun içinde dağılmış haldeki talaş, doğrudan NiCO₃ veya K₂CO₃ varlığında H ve/veya CO'e benzer yükseltgen maddeler olmaksızın sıvılaştırılmıştır. En yüksek verim K₂CO₃ varlığında %24.7 olarak bulunmuş ve bu ürünün ısıl değeri 33.4 MJ/kg olarak tespit edilmiştir.

Çam ve kayın odunu sıvılaştırılması üzerine yapılan bir çalışmada ise bunların haloselüloz, selüloz ve lignin bileşenleri, çam kabuğu, şeker kamışı küspesi lignin bileşenleri, katalitik hidrojen ortamında (paladyum katalizörü) direkt sıvılaştırılması incelenmiştir. Elde edilen sıvı ürünler karakterize edilerek nötral, zayıf ve kuvvetli asidik fonksiyonlara ayrılmış, C/H oranları belirlenerek ısıl değerleri hesaplanmıştır [83].

Termokimyasal sıvılaştırma yöntemi ile sıvı ürün elde edilebilen kanalizasyon atıkları kuru temelde %80 organik madde içermektedir. Bu atıklardan elde edilen sıvı ürün buhar distilasyonu ile işleme tabi tutulmuş, asit-baz ekstraksiyon işlemiyle nötral, zayıf asidik, asidik fraksiyonlara ayrılmıştır. Zayıf asidik fraksiyonun genelde fenolik bileşiklerden oluştuğu, bazik fraksiyonun genelde piridin, pirazin, aminler ve metil fenil amid içerdiği, nötral fraksiyonun ise alifatik bileşikler ile oksijen içeren heterosiklik bileşiklerden meydana geldiği gaz kromatografisi ve kütle spektroskopisi kullanılarak yapılan analizler sonrasında tespit edilmiştir [84].

Yapılan başka bir çalışmada da soma linyitinin sıvılaştırılmasında sıvılaştırma ajanı olarak odun talaşı kullanılmıştır. Denemeler 300°C, 325°C, 350°C, 375°C ve 400°C sıcaklıklarda ; 10 atm, 25 atm, 40 atm, 55 atm ve 70 atm hidrojen basınçlarında (ilk soğuk basınç) gerçekleştirilmiştir. Ortak işlem sıvılaştırma ajanı olarak kullanılan odun talaşının linyite oranı 1/1 gr/gr ; çözücü olarak kullanılan tetralinin toplam katı (linyit+talaş) miktarına oranı ise 3/1 ml/gr olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlar temelinde, sıcaklığın ve basıncın gaz, yağ, asfalten ve preasfalten verimleri ve toplam dönüşümler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sıcaklık 300°C'den 400°C'e arttırıldığında gaz ve yağ verimlerinin ve toplam dönüşümlerin sıcaklıkla arttığı saptanmıştır. Asfalten verimlerinin ise 375°C'e kadar arttığı, 400°C'de ise düştüğü ; ancak, preasfalten verimlerinin her bir sıcaklık değerinde farklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Basıncın ortak işlem sıvılaştırma verimi üzerinde ki etkisinin incelendiği deneylerde 10 atm'den 70 atm'ye arttırıldığı zaman basıncın tüm verimler ve toplam dönüşümler üzerinde ki etkisi beklenenin aksine fazla olmamıştır. Bu nedenle, seçilen basınç aralığında ortam basıncını arttırmanın ortak işlem sıvılaştırma verimleri üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı saptanmıştır [85].

4.3.4. Piroliz

Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak gaz, katı ve sıvı ürünlere ayrılması (bozundurulması)dır. Piroliz işleminde, teorik olarak gerekli ısı

miktarı, organik maddenin kimyasal yapısını bozacak ve yeni kimyasal maddelerin oluşumunu sağlayacak düzeyde olmalıdır [86].

Katı yakıt açısından değerlendirildiğinde, karbonizasyon olarak bilinen ısıl bozundurma işlemi ; sıvı ve gaz yakıt olarak değerlendirildiğinde piroliz olarak bilinir [86-87].

Piroliz diğer ısıl dönüşüm süreçlerine göre tercih edilen bir yöntemdir. Bunun başlıca nedeni elde edilen sıvı ürünün, üretimi ve pazarlaması sırasında taşıma ve depolama maliyetlerinin düşük olması, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasıdır. Sıvı ürün elementel bileşiminde biyokütleyle benzer ve oksijenlenmiş hidrokarbonların karmaşık şekillerini içerir. Özellikle yavaş piroliz süreçlerinden elde edilen sıvı ürün yakıt yerine kullanılabilir niteliktedir [88].

Oksijensiz ortamda ki ısıl bozundurma işlemi olan piroliz 500-800⁰C sıcaklıklarında gerçekleştirilirken gazlaştırma prosesi 800-1100 ⁰C arasında, daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir [88].

Piroliz ısıtma hızı ve biyokütlenin reaktörde kalma süresi açısından yavaş ve hızlı olarak ikiye ayrılabilir. Yavaş pirolizde, ısıtma hızları 1-10⁰C/dak mertebesinde ve reaktörde kalma süresi de oldukça uzun olup genelde katı ürün elde edilmesinde kullanılmaktadır. Hızlı piroliz ise sıcaklığa göre gaz ve sıvı ürünlerin maksimum şekilde elde edilmesinde kullanılır.

Yavaş pirolizde, 600⁰C'den daha düşük sıcaklıklarda ve uygun ısıtma hızlarında yaklaşık olarak eşit miktarda gaz, sıvı ve katı ürün elde edilir [89].

Yavaş piroliz süreçlerinde elde edilen sıvı ürün ağırlıkça %20'ye kadar sulu ve gaz yağından ağır petrole kadar değişen viskozitede koyu siyah katranımsı bir sıvıdır. Flash piroliz sürecinden elde edilen piroliz sıvısı ise %15-20'ye kadar su içeren, düşük viskoziteli, koyu kahverengi renkli hareketli bir sıvıdır, ancak genellikle çok nemli bir besleme kullanılmadıkça faz ayrımı yoktur [88].

Yüksek ısıtma hızlarındaki pirolizler etkileşme süresine bağlı olarak hızlı, flash yada ultra piroliz olarak isimlendirilir. Flash piroliz ile yavaş piroliz arasında bir ara basamak hızlı piroliz olarak bilinir.650⁰C'nin altında ki sıcaklıklarda 1000⁰C/dk civarında yüksek bir ısıtma uygulanıp hızlı soğutma yapılırsa daha ileri reaksiyonlarda yüksek molekül ağırlıklı maddelerin gaz ürünlere parçalanmasından önce, piroliz ara ürünlerinin yoğunlaşması sağlanabilir ve char

oluşumu minimize edilir. Daha yüksek piroliz sıcaklıklarında ise elde edilen birincil ürün gazdır.

Flash piroliz işleminde 400⁰C'nin altında ki sıcaklıklarda ana ürün olarak gaz ve katı oluşurken, 400⁰C-600⁰C arasında ki sıcaklıklarda yoğunlaşabilen sıvı ürün miktarı en yüksek değere ulaşır. Sıcaklığın artması ile gaz ürün veriminde artış gözlenir ve 650⁰C'nin üstündeki sıcaklıklarda ana ürün gazdır.

Flash piroliz işleminden elde edilen biyoyakıt, yavaş piroliz süreçleri ile elde edilen ağır katran fraksiyonları ile kesinlikle karıştırılmamalıdır. Biyoyakıt oda sıcaklığında pompalanabilir ve püskürtülebilir özelliktedir ve katrandan daha düşük viskozitededir. Biyoyakıtın içindeki yaklaşık %20 oranında ki su yakıt ile karışır ve yakıt sürekli tek faz halindedir. Yaklaşık %23-26 arasında ki pirolitik lignin biyoyakıtın ana bileşenidir ve polar yapıda ki biyoyakıt alkol, aseton, keton gibi polar çözücülerde çözünebilir [90].

Flash piroliz ile yavaş pirolizden daha yüksek miktarda uçucu ürün elde edilir. Düşük ısıtma hızı ve uzun alıkonma süresinden ötürü yavaş piroliz işlemi sonrasında oluşan uçucu ürünler kraking ve tekrar katıya dönüşme reaksiyonları verebilmektedir ki buda uçucu ürün verimini azaltan bir faktördür.

Flash pirolizin yavaş pirolize bir diğer üstünlüğü de bozunmanın ve bozunma ürünlerinin kontrol edilebilmesidir. Yavaş ısıtma koşullarında bozunmanın ve bozunma ürünlerinin kontrolü güçtür ve ikincil reaksiyon ürünleri oluşabilmektedir.

Hidroprolizde flash piroliz gibi çok kısa reaksiyon süreli bir süreçtir. Ancak flash piroliz genellikle atmosferik basınçta gerçekleşirken, hidroproliz ise çoğu zaman 20 Mpa'lık bir basınç altında gerçekleştirilir.

Vakum pirolizinde ise, biyokütle çoklu fırın reaktöründe vakum altında piroliz edilmekte, fırından çıkan buharlar yoğunlaştırularak birincil sıvı ürünler ayrılmaktadır.

Biyokütlenin hızlı veya flash pirolizi ile laboratuvar şartlarında %70'e ulaşan verimlerde sıvı ürün elde edilmektedir. Elde edilen sıvı ürün iyileştirme işlemleri sonrasında benzin ve dizel gibi ürünlere dönüştürülebilmektedir. Çizelge 4.6'da piroliz teknolojilerinin karakteristikleri, 4.7'de ise piroliz proseslerinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.6. Piroliz teknolojilerinin karakteristikleri [88]

	Alıkonma Süresi	Isıtma Hızı	Maksimum Sıcaklık (°C)	Ana Ürün
Karbonizasyon	Saatlerce-günlerce	Çok düşük	400	Aktif kömür
Geleneksel	5-30 dak	Düşük	600	Bio-yakıt, aktif kömür ve gaz
Hızlı	0.5-5sn	Yüksek	650	Bio-yakıt
Flash				
Sıvı	<1 sn	Yüksek	<650	Bio-yakıt
Gaz	+1 sn	Yüksek	+650	Kimyasallar ve yakıt gazı
Ultra	0.5 sn	Çok yüksek	1000	Kimyasallar ve yakıt gazı
Vakum	2-30 sn	Orta	400	Bio-yakıt
Hidroproliz	+10 sn	Yüksek	+500	Bio-yakıt ve kimyasallar

Biyokütle ve atıklarda genellikle piroliz 300-375⁰C'de başlar. Selülozik maddelerin polimer yapısı yaklaşık 300⁰C'de bozunmaya başlar ve kullanılabilir katı ürün (ağırlıkça yaklaşık %75 C içeren) 350⁰C'den daha yüksek sıcaklıklarda hammaddenin piroliziyle elde edilir. Ancak artan piroliz sıcaklığıyla karbon verimi artmasına rağmen katı ürün verimi azalır. Farklı selülozik maddeler için ürün verimleri Çizelge 4.8'de görülmektedir.

Sıcaklığın yüksek olması ve reaktörde kalış süresinin uzun olması gaz verimini artırır. Sıvı ürün veriminin artması için ise daha düşük sıcaklık ve alıkonma süreleri gereklidir [88].

Pirolizi etkileyen faktörler; piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, katalizör, parçacık boyutu, ürünlerin tepkime koşulları ve basınçtır. Isıtma hızının artmasıyla uçucu madde miktarı artmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda katran bozunarak gaz ürün miktarını da artırır. Artan basınçla uçucu maddelerin tepkimede kalma süresi azalır. Orta sıcaklıklarda düşük basınç ile katran miktarı artmaktadır [87].

Piroliz sıcaklığının artması ile sıvı ürünün ve aktif karbonun H/C ve O/C oranları azalmaktadır [87].

Piroliz işlemlerinde parçacık boyutunun artması ile uçucuların gaz atmosferine geçişi hızlanmaktadır. Uçucular yüzeyle daha uzun süre etkileşmekte ve ikincil tepkimeler (yeniden polimerleşme, sıcak katı yüzeyinde parçalanma tepkimeleri) oluşabilmektedir. Polimerleşme tüm piroliz verimini düşürürken, yüzeyde parçalanma tepkimeleri sıvı verimini azaltıp, gaz verimini artırma yönünde etki etmektedir [93].

Çizelge 4.7. Piroliz proseslerinin özellikleri [88]

	KARBONİZASYON	YAVAŞ	FLASH	
			Düşük Sıc.	Yüksek sıcak.
Değişkenler				
Sıcaklık, °C	350-500	400-600	450-600	700-900
Basınç, bar	1	0.1-1	1	1
Mak.bes.mik.kuru/ton s	5	1	0.05	0.10
Ürünler (Kuru temel üzerinden)				
Gaz Verim,% ağırlık YID,MJ/Nm ³	En yüksek 150 3-6	En yüksek 60 5-10	En yüksek 30 10-20	En yüksek 80 15-20
Sıvı Verim,% ağırlık YID,MJ/Nm ³	En yüksek 25 20	En yüksek 30 20	En yüksek 70 24	En yüksek 20 22
Katı Verim,% ağırlık YID,MJ/Nm ³	En yüksek 40 30	En yüksek 30 30	En yüksek 15 30	En yüksek 15 30

Çizelge 4.8. Farklı maddeler için ürün verimleri [91-92]

	%Aktif Karbon	%Sıvı Ürün	% Gaz Ürün	% Su
Köknağ ağacı kabuğu	25-50	35-50	5-15	10
Pirinç kabuğu	35	40	10	15
Saman	20	20	15	5
Hayvan gübresi	45	45	15	10

Piroliz işleminde elde edilen ürünler birincil ve ikincil ürünler olmak üzere ikiye ayrılır. Birincil ürünler; karbonca zengin katı ürün, sıvı yada gaz olabilir ve kullanılan hammaddenin bileşimine, piroliz sıcaklığına, ısıtma hızına ve reaktörde kalış miktarına bağlı olarak farklı miktarlarda elde edilir. Birincil ürünler doğrudan doğruya kullanılabilen gibi kimyasal işlemler uygulanarak ikincil ürünlere dönüştürülerek kullanılabilir. İkincil ürünler yüksek kalitede yakıt ve değerli kimyasal bileşiklerdir [94-95].

4.3.4.1. Birincil ürünler

Katı ürün : Piroliz, aktif karbon üretiminde kullanıldığında kuru beslemenin ağırlıkça %30-40'ı oranında ürün verimi sağlanabilir. Katı ürün, yavaş piroliz yoluyla günler yada saatler süren reaksiyonlarla elde edilmektedir. Sıcaklığın

artması ile katı ürün veriminin azaldığı gözlemlenmiştir. Selülozik maddelerde katı ürün verimi ve kompozisyonuna sıcaklığın etkisi Çizelge 4.9'da gösterilmiştir. Katı ürün yani charın kullanım alanları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Katı ürün verimine piroliz sıcaklığının etkisi [92]

Sıcaklık (°C)	Ağırlıkça (%) Aktif Karbon	Aktif Karbondaki (% C)
300	51.4	73.2
400	40.6	77.7
500	31.0	89.2
600	29.1	92.2
800	26.7	95.7
1000	26.8	96.7
1100	26.1	96.4

Çizelge 4.10. Char kullanım alanları [96]

YAKIT	METALURJİ	KİMYA ENDÜSTRİSİ
Doğrudan yakıt	Bakır	Aktif karbon
-Pişirme	Pirinç	Karbon siyahı
-Isınma	Dökme demir	Karbondisülfür
-Tütün serleştirme	Çelik	Kalsiyumkarbid
Karışım yakıt	Nikel	Silikonkarbid
-Char-su karışımları	Alüminyum	Potasyum siyanür
-Char-fuel oil karışımları	Elektro-manganez	Karbonmonoksit
-Char-bitkisel kökenli yakıt karışımları	Zırhlı plaka	İlaç
Biriktirme ile yakıt	Dökme plaka	Hayvan yemi
		Pastel boya
		Isıl işlem
		Gaz adsorpsiyonu
		Su saflaştırma

Gaz Ürün: Piroliz işleminden elde edilen gaz ürün kompleks ısıl parçalanma prosesleri sonucunda ortaya çıkan doymuş, doymamış hidrokarbon karışımları ile H₂, CO gibi gazları içerir ve güç santrallerinde, ısıtma işlemlerinde ve beslemenin kurutulmasında kullanılabilir [97].

Gaz ürünler, proses parametrelerine ve beslemeye bağlı olarak 4-8 MJ/Nm³ düşük ısıl değerli yada 15-22 MJ/Nm³ orta ısıl değerli yakıt gazlarıdır.

Sıvı ürün : Piroliz işlemi sonucunda açığa çıkan sıvı ürünler su yada suda çözünen düşük molekül ağırlıklı bileşikler yada yağ olarak adlandırılan suda çözünmeyen yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Sıvı ürünün kompleks yapısı lignin indirgenmesinden, yapıdaki bileşiklerin karşılıklı etkileşmelerinden ve fenolik bileşiklerin denetlenemeyen indirgenmesinden kaynaklanır [89-97].

Pirolizden elde edilen sıvı ürün verimi reaksiyon hızından etkilenmektedir ; 450-650 °C sıcaklık aralığında hızlı veya flash pirolizle en yüksek sıvı verimleri elde edilebilmektedir. Sıvı ürünlerin su ve yüksek oksijen içeriğine (ağırlıkça % 40'a kadar çıkar) bağlı olarak taşıma, depolama ve yanma sırasında bazı tedbirlerin alınması gerekir. Bu sebeple piroliz sıvı ürünleri genellikle direk kullanılmaz bazı dönüşüm ve iyileştirme işlemleri uygulandıktan sonra kullanılır. İyileştirme prosesi için; nispeten düşük oksijen içerikli hidrokarbonların üretildiği hidrojenasyon teknolojisi yada direkt olarak aromatik veya yüksek kaliteli hidrokarbon yakıtların üretimine dayanan zeolit teknolojisi kullanılır. Petrol endüstrisinde kullanılan hidrojenleme prosesleri biyokütle pirolizine kolaylıkla uygulanabilmektedir [98-99]. Ancak bu şekilde elde edilen benzin düşük kalitelidir ve daha değerli ürünlerle karıştırılarak kullanılabilir [88]. Hidrokarbonların sentezinde zeolit kullanılması alkollü beslemeler için geniş bir şekilde incelenmiş ve dekarboksilasyon ile selüloz ürünlerinin iyileştirilmesinde de kullanılmıştır [99]. Zeolit dekarboksilasyon yöntemi ile benzen, toluen ve ksilenin yüksek oranlarda elde edildiği son aromatik yapısının korunmasıyla birlikte yüksek kalitede ürünler vermektedir.

Sıvı üründe ki su içeriği ısı değeri düşürmesi, pH'ı etkilemesi, viskoziteyi düşürmesi, fiziksel ve kimyasal kararlılığı etkilemesi vb.. sebeplerden dolayı önemlidir. 100°C civarında buharlaştırma ve yoğunlaştırma sıvı üründe fiziksel ve kimyasal değişikliklere neden olacağı için su miktarının ölçülmesi zordur. Bu sebeple piroliz işlemlerinin, buharın suyun yoğunlaşma noktasının üzerinde olduğu durumlarda sürdürülmesi ve suyun yoğunlaştırılmaması daha uygun bir yaklaşımdır.

4.3.4.2. İkincil ürünler

Birincil ürünlerden elde edilen ikincil ürünler ; hidrokarbon yakıtları, oksijen içeren yakıtlar, amonyak ve hidrojen gibi değerli kimyasal maddelerdir [88].

İkincil sıvı ürünler, faz ayrımı oluşmadan önce ağırlıkça %50 veya daha fazla su absorplayabilen birincil ürünlerden farklı olarak kullanılan yöntemle de bağlı olarak ağırlıkça yaklaşık olarak %20 su absorplayabilirler.

4.3.5. Biyokütle ürünü yapay yakıtların diğer yakıt kaynakları ile karşılaştırılması

Biyokütleden elde edilen sıvı ürünlerin yakıt olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde ilk olarak H/C oranları ve ısıl değerlerinin incelenmesi faydalı olacaktır. Farklı yakıt kaynaklarının yaklaşık olarak H/C oranları ve molar gösterimleri Çizelge 4.11’de ve Şekil 4.5’de verilmiştir.

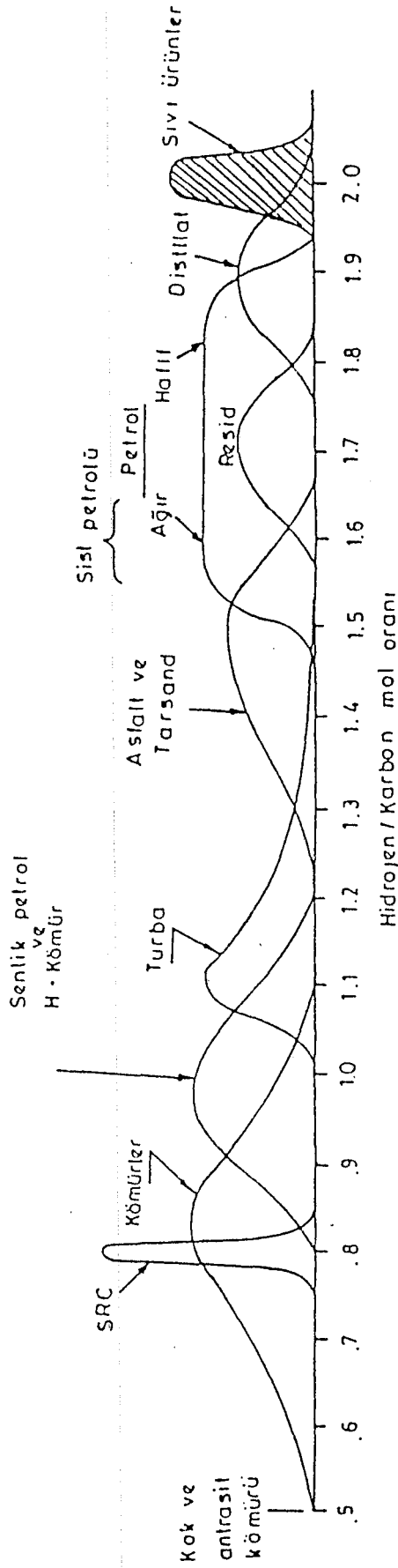
Çizelge 4.11. Farklı yakıt kaynaklarının H/C oranları [29]

YAKIT	H/C	MOLAR GÖSTERİM
Kömür	0.8	CH _{0.8}
Benzen	1.0	CH _{1.0}
Ham petrol	1.33	CH _{1.33}
Benzin	2.0	CH ₂
Metan	4.0	CH ₄

Katı yakıtlarda, H/C oranı arttıkça yakıt sıvı yakıt özelliğine yaklaşmaktadır. Karbon içeren maddelerin dönüşümü ile yapay sıvı ve gaz yakıtlar elde edilebilmektedir. Piroliz işlemi de karbon içeren hammadde ısıtılarak bozundurulur ve sonuçta katı karbon ürün ile gazlar ve orjinal maddeden daha fazla hidrojen içeren sıvı elde edilmektedir. H/C oranı arttıkça sıvı ürün verimi de artmaktadır [29].

Biyokütle piroliz katranına ayrımsal damıtma ile yapılacak ayırmada, elde edilecek fraksiyonların benzin, gazyağı, dizel ve fuel-oil yakıtlarının kaynama eğrileri ile karşılaştırılmasıyla piroliz sıvı ürününün yakıt yada kimyasal hammadde olarak değerlendirilebilirliği incelenebilir.

Biyokütlenin düşük molekül ağırlıklı hidrokarbonları doğrudan sıvı yakıt olarak kullanılabilirken, çoğunlukla trigliseritlerden oluşan yağlar ise dizel yakıtı olarak kullanılabilir.



Şekil 4.5. Farklı hidrokarbon kaynaklarına ait H/C oranları [102]

Mısır ve hint yağı özelliklede jojoba yağının uzun zincirli esterlerinin yüksek kalitede kimyasal bileşenlere ve yakıta dönüştürülebileceği doğrulanmıştır [100].

Değişik proseslerde piroliz sonucu binlerce organik bileşik elde etmek mümkündür. Bu bileşiklerin yapılarının analiz edilebilmesi için çözünürlük ve polarite gibi sınıflandırmalar yapılarak analiz edilmeleri, ayrıntıya inebilmek açısından gerekli olabilmektedir [101].

4.3.6. Biyokütle pirolizi üzerine yapılan çalışmalar

Odun pirolizinde parçacık boyutunun etkisi incelenmiş, bunun için çapları 1.5-2.5 mm arasında değişen örnekler kullanılmış, katı ürün ve sıvı ürün verimleri artarken gaz ürün veriminin %39'dan %32'ye düştüğü görülmüştür. Uzunluğu 0.5-1 cm arasında değişen örnekler kullanılarak hammaddenin uzunluğunun etkisi incelenmiş ve ürün dağılımına etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Hammadde neminin piroliz ürün dağılımına etkisinin incelendiği çalışmada, nem içeriği arttıkça katı ve sıvı ürün veriminde azalma olurken gaz ürün veriminde artış olduğu gözlenmiştir. Odunun 400⁰C'de başlayan parçalanması 600⁰C'de ki pirolizde de devam etmiş en yüksek sıvı ürün verimi %45 ile 600⁰C'de elde edilmiş bundan sonra ki sıcaklıklarda artan sıcaklıkla azalmaya başlamıştır [103].

Başka bir çalışmada çam kabuklarının pirolizinde parçacık boyutunun etkisi incelenmiş, parçacık boyutu 0.5-0.9 mm arasında değişen kabukların 765⁰C'deki pirolizinde artan parçacık boyutunun katı ve sıvı ürün verimi üzerinde etkisinin olmadığı gaz ürün veriminde ise küçük bir verim artışı olduğu görülmüştür. Çam kabuklarının pirolizinde 600-800⁰C sıcaklık aralığında sıcaklık arttıkça sıvı ve katı ürün verimleri azalırken gaz ürün verimi artmıştır. Aynı çalışmada şeker kamışı küspesi ve kavak odunu piroliz edilmiş ve parçacık boyutu ve sıcaklık gibi parametreler için çam kabuklarına benzer sonuçlar elde edilmiştir [104].

Çam kabukları, sirkülasyonlu akışkan yatakta 650⁰C'de piroliz edilmiş, çalışmada 1-1.25 mm boyutunda hammadde 0.35 g/dak akış hızında reaktöre beslenmiştir. Elde edilen gaz ve sıvı buharlarının bir kısmı veya tamamı helyum gazı ile seyreltilerek piroliz reaktörüne gönderilmiştir. Piroliz reaktörünün kum,

dolamit, kum ile birlikte dolamit içeren üç farklı reaksiyon hücresinde deneyler gerçekleştirilmiş ve dolamitin çok etkin bir katalizör olduğu belirlenmiştir [105].

Aspen, kavak ve akça ağaç kuru temelde 0.5 sn alıkonma süresinde flash piroliz işlemine tabi tutulmuş ve %60-70 oranında organik sıvı ürün verimi elde edilmiştir. Buğday, mısır sapsarı ve şeker kamışı küspesinin 450-650⁰C'de ki flash pirolizinde elde edilen sıvı ürün verimi kuru temelde %40-60 olarak bulunmuş ve sıvı ürünün H/C oranı ile kalorifik değerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir [106].

Kavak ağacının hızlı pirolizi üzerine yapılan çalışmada elde edilen maksimum sıvı ürün verimi (su dahil) ağırlıkça %78'dir. Katı ürün verimi 500⁰C'de %18 iken 800⁰C'de %3 değerine düşmüştür [107].

Kavak ağacından elde edilen piroliz katranı 350-450⁰C sıcaklık aralığında H-ZSM5 ile katalitik olarak parçalandığında %10-15'lik C₅-C₁₀ içeren hidrokarbonlar elde edilmiştir [108].

Kökner odunu akışkan yataklı reaktörde inert gaz olarak azot, akışkan partikül olarak silika kumu kullanılarak, 400-750⁰C sıcaklık aralığında piroliz edilmiş, partikül boyutu ve piroliz sıcaklığının sıvı ürün verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Maksimum sıvı ürün verimi %40 olarak bulunmuş ve sıvı ürünün fenolik fraksiyonları incelenmiştir [109].

Meşe odunu kabukları 300-900⁰C sıcaklık aralığında ve 0.4-2 mm partikül boyut aralığında piroliz edilmiştir. Çalışma sonucunda en uygun piroliz sıcaklığının 600⁰C olduğu ve oluşan gaz ürünün H₂, CH₄, CO₂ ve CO gazlarından oluştuğu belirlenmiştir [110].

Badem kabuklarının pirolizi akışkan yataklı reaktör ve flash piroliz sisteminde gerçekleştirilmiş, NaOH, MnCl₂, CoCl₂ katalizörleri kullanılarak farklı katalizör/badem kabuğu oranlarında çalışmalar yapılmıştır. MnCl₂, CoCl₂ katalizörleriyle yapılan deneylerde yüksek verimde 2-furaldehit elde edilmiştir. Akışkan yataklı reaktörde 425-610⁰C piroliz sıcaklıklarında 14.1 g CoCl₂/badem kabuğu oranında yapılan deneylerde %6.9-7.2 2-furaldehit, %5.5-7.2 asetik asit verimleri elde edilmiştir [111].

Fındık kabukları, fındık ağacı parçaları, zeytin kabukları, kayısı ve şeftali çekirdeklerinin hızlı pirolizi ve piroliz-gazlaştırma denemeleri pilot ölçekte gerçekleştirilmiştir. 450⁰C sıcaklığında %17-19 sıvı, %20-22 su, %25-27 gaz,

%34-36 katı ürün verimleri elde edilmiştir. Piroliz gazlaştırma deneylerinde yaklaşık hidrojen/karbonmonoksit oranı 3 olduğunda hidrojen zengin sentetik gaz yakıt üretilebileceği görülmüştür [112].

Kağıt fabrikası atıklarının farklı parçacık boyutlarında, sabit yataklı reaktörde, inert atmosferde pirolizi gerçekleştirilmiş; parçacık boyutu, piroliz sıcaklığı ve alıkonma süresinin ürün verimlerine ve gaz ürünün bileşimine etkisi incelenmiştir. En önemli gaz ürünlerin H_2 , CH_4 , CO_2 , CO ve H_2S olduğu bulunmuştur [113]. Kağıt fabrikası atıklarının hidrolizinde ise karbon dönüşümünün $320^{\circ}C$ 'nin üzerinde olduğu ve katı bileşimiyle arttığı gözlemlenmiştir [114].

Belediye katı atıklarından cam ve metal atıklar ayrıldıktan sonra kalan çöplerin organik kısımları flash piroliz işlemine tabi tutulmuş, proses değişkenleri incelenmiştir. Elde edilen sıvı ürünün karakterizasyonu yapılarak 6 nolu fuel oil ile karşılaştırılmış ve yanma testleri de yapılarak petrol türevli sıvı yakıtlar yerine kullanılabilirliği gösterilmiştir [115].

Euphorbiarigida ve Euphorbiamacroclada bitkilerinin Heinze retordunda $40^{\circ}C/dak$ ısıtma hızı ve $520^{\circ}C$ piroliz sıcaklığında pirolizi gerçekleştirilmiş ve Euphorbiarigida için %18.13, Euphorbiamacroclada için ise %12.56 sıvı ürün verimleri elde edilmiştir [116].

Ayçiçeği presküsperi üzerine yapılan çalışmada piroliz sıcaklığı, parçacık boyutu ve ısıtma hızının piroliz verimi üzerine etkisi incelenmiş ve %38-39 gibi yüksek bir sıvı ürün verimine ulaşılmıştır. Elde edilen ürünlerin spektroskopik ve kromatografik analizleri yapılmıştır [58].

Euphorbiarigida'nın statik Heinze retordundaki pirolizinde en yüksek piroliz dönüşümüne $7^{\circ}C/dak$ ısıtma hızında ve $700^{\circ}C$ 'de, en yüksek sıvı ürün verimine ise $550^{\circ}C$ sıcaklıkta %22.69 ile ulaşılmıştır. Sürükleyici gaz ortamında ki çalışmalarda ise en yüksek sıvı ürün verimine $7^{\circ}C/dk$ 'lık ısıtma hızı, $500^{\circ}C$ piroliz sıcaklığı ve $200-600cm^3/dk$ sürükleyici gaz akış hızında %28.99-%29.28 değerleriyle ulaşılmıştır. Piroliz sonucu elde edilen sıvı ürünün benzetimli distilasyon yöntemi kullanılarak diğer yakıtlarla karşılaştırılmış ve aralarında tam bir uyum olduğu görülmüştür [32].

Fındık kabuklarının pirolizi üzerine yapılan çalışmada piroliz sıcaklığının, ısıtma hızının, parçacık boyutunun ve sürükleyici gaz (N_2) akış hızının piroliz ürün verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. $7^{\circ}C/dk$ ısıtma hızı, $500^{\circ}C$ piroliz sıcaklığı ve $0.85 < D_p < 1.8$ mm parçacık boyutu ve $100 \text{ cm}^3/dk$ azot akış hızı koşullarının en optimum piroliz şartları olduğu belirlenmiştir. Bu koşullar altında %22.53'lük bir sıvı ürün verimine ulaşılmıştır. Ayrıca elde edilen sıvı ve katı ürünlerin bileşimleri de belirlenmiştir [26].

Pamuk çiğiti küspesinin sabit yataklı reaktörde pirolizi gerçekleştirilmiş; ısıtma hızı, piroliz sıcaklığı ve ortamının ürün verimleri ve yapısına etkisi incelenmiştir. Maksimum sıvı ürün verimi N_2 atmosferinde, $550^{\circ}C$ piroliz sıcaklığı ve $7^{\circ}C/dk$ 'lık ısıtma hızında % 27 olarak elde edilmiştir. Sıvı ürünün kimyasal karakterizasyonunda ham petrol ve şist petrolüne benzer olduğu görülmüştür [117].

Ayçiçeği ekstraksiyonu küspesinin pirolizi üzerine yapılan çalışmada piroliz sıcaklığının, ısıtma hızının, parçacık boyutunun ve sürükleyici gaz (N_2) akış hızının piroliz ürün verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. $7^{\circ}C/dk$ ısıtma hızı, $550^{\circ}C$ piroliz sıcaklığı ve $0.425 < D_p < 0.850$ mm parçacık boyutu ve $100 \text{ cm}^3/dk$ azot akış hızı koşullarının en optimum piroliz şartları olduğu belirlenmiştir. Bu koşullar altında %23.13'lük bir sıvı ürün verimine ulaşılmıştır. Ayrıca elde edilen sıvı ve katı ürünlerin bileşimleri de belirlenmiştir [50].

Aspir tohumunun sabit yataklı reaktördeki piroliz işleminde piroliz sıcaklığının ve partikül büyüklüğünün etkisi incelenmiş, elde edilen sıvı ürünün yapısı belirlenmiştir. Sıvı ürünün gerek yüksek ısıl değeri ve gerekse kimyasal içeriğiyle enerji kaynağı ve petrokimya endüstrisi için bir girdi olabileceği görülmüştür [118].

Kolza tohumunun pirolizi üzerine yapılan çalışmada piroliz sıcaklığının, ısıtma hızının, parçacık boyutunun ve sürükleyici gaz (N_2) akış hızının piroliz ürün verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. $7^{\circ}C/dk$ ısıtma hızı, $500^{\circ}C$ piroliz sıcaklığı ve $0.85 < D_p < 1.8$ mm parçacık boyutu ve $100 \text{ cm}^3/dk$ azot akış hızı koşullarının en optimum piroliz şartları olduğu belirlenmiştir. Bu koşullar altında %53.04'lük bir sıvı ürün verimine ulaşılmıştır. Ayrıca elde edilen sıvı ve katı

ürünlerin bileşimleri de belirlenmiş, elde edilen sıvı ürünün ham petrol ve petrol sistine büyük yakınlık gösterdiği görülmüştür [24].

Dynamotive firması piroliz yöntemini kullanarak talaş, ağaç kabukları ve şeker kamışı küspesi, buğday sapı vb.. tarımsal atıkları besleme olarak kullanarak biyoyakıt üretmektedir. Firma 2001 yılında 18 milyon lt/yıl, 2002/3 yılında ise 35-70 milyon lt/yıl biyoyakıt üretimini hedeflemektedir. Kullanılan sistem şöyledir, biyoyakıt içindeki suyu minimize etmek için besleme döner fırında nem içeriği %10'un altına düşecek şekilde kurutulur, sonra hızlı reaksiyon sağlamak için daha küçük partiküllere bölünür ve hazırlanan besleme piroliz reaktörüne beslenecek şekilde depolanır. Reaktörde besleme oksijensiz ortamda hızlı piroliz işlemine tabi tutulur ve biooil, char ve gaz ürün olmak üzere üç ürüne bozunur. Piroliz reaktöründen çıktıktan sonra bu üç ürün siklona girer ve santrifüjal hareketle char ayrılır, ayrılan char siklonun altında toplanır. Biooil buharları ve yoğunlaşmayan gaz soğutma sistemine girer ve burada soğutucu sıvısıyla hızlıca soğutulur. Biooil buharları yoğunlaşır ve ürün tankında toplanır. Biooildan daha hafif olan soğutma sıvısı üstte birikir ve soğutma sistemine geri döner, inert gazda reaktörü akışkanlaştırmak üzere piroliz döngüsüne geri verilir. Elde edilen biooil, düşük ve orta hızlı dizel motorlarında, küçük ölçekli gaz türbinlerinde, endüstriyel ve evsel ısıtma kazanlarında kullanılan, endüstriyel dizel ve hafif yakıt yağları gibi fosil yakıtlar için alternatif olarak kullanılabilir.

5.CEVİZ BİTKİSİ

Bu bölümde, ceviz bitkisi tanıtılmış, ülkemiz için ekonomik değeri ve kullanım alanları anlatılmıştır.

5.1. Ceviz Bitkisinin Tanıtılması

Ceviz *Juglandales* takımından, *Juglandaceae* familyasından *Juglans* cinsine ait ağaca ve bunun meyvesine verilen addır. Bu familyanın genel özelliklerini sıralayacak olursak :

- Çoğunlukla ağaç ender olarakta çalı biçiminde bulunurlar.
- Bir cinsli, bir evcikli anemogam odunsu bitkilerdir.
- Yapraklar almaçlı ve aromatik madde ile dolu olan bezelere sahiptir.
- Çiçekler yapraklanmayla beraber veya ondan sonra oluşurlar. Erkek çiçekler salkım halinde sarkık vaziyettedir. Dişi çiçekler terminal durumludur.
- Meyve genel olarak büyüktür, çekirdekli sulu meyve karakterindedir.
- Çok büyük olan tohumun yağlı çenekleri vardır, çenekler hipogeiktir [119-120].

Ceviz ağacı uzun ömürlü, gövdesi çok kalınlaşabilen, iri yapraklı, güzel görünüşlü bir meyve ağacıdır. Boyu 25 m'yi bulabilir, kerestesi çok kıymetlidir. Kökü derinlere indiğinden hafif yumuşak fakat çok nemli olmayan topraklarda iyi yetişir, kireci az kumlu toprakları sever. Kışın yaprağını döken boylu ağaç, bazende ağaççık halinde görülen bitkilerdir. Gövde genç yaşlarda açık kül rengi, yaşlılarda ise kalın ve çatlaklı bir kabuğa sahiptir. Soğukça ve nemli iklimleri sever, büyümesi sırasında fazlaca havaya ihtiyacı olduğundan cevizliklerde fidanlar arasında 15 m veya daha fazla boşluk bırakılır. Yaprakları ovulduğunda kendine özgü bir koku verir, suda kaynatıldığında ise kahverengi bir boya oluşur. Ceviz odunları kıymetli olmakla birlikte, yenen meyvesinden ötürü uzun zamandan beri kültüre alınmıştır [119-120].

Her ne kadar jeolojik devirlerde ceviz bitkisinin çok sayıda taksonları geniş bir yayılışa sahip ise de, günümüzde ancak 15-20 kadar türü Kuzey ve Güney Amerika, Güney Avrupa, Ön Asya, İran, Kafkasya, Güney ve Doğu Asya ormanlarında doğal olarak bulunmaktadır, bunlardan başlıcaları şunlardır :

Juglans regia L. (Adi ceviz): 25-30 m'ye kadar boylanabilen, geniş tepeli bir ağaçtır. Gövde kabuğu gümüşü-gri renkte, parlak ve çatlaksız olup uzun yıllar çatlamadan kalır. Yaşlı ağaçlarda göğüs çapı 2.5 m'ye kadar ulaşır. Meyvesi çekirdekli sulu meyve olup, ekzokarp yeşil renkli ve çıplaktır, 4-5 cm çapındadır, takriben küre şeklindedir. Ülkemizde Doğu Anadolu'da doğal olarak yetişmekle beraber pek çok yerde kültüre alınmıştır.

Juglans nigra L. (Kara ceviz): Kara ceviz, Kuzey Amerika'nın doğusundaki yapraklı ormanlarda yetişen ceviz türlerinden en değerli olanıdır. Genellikle 25-35 m boy ve 60-90cm çapa sahiptir. Ceviz türleri içerisinde en değerli olanıdır. Derine giden yaygın bir kök sistemine sahiptir. Bu tür toprak şartlarına karşı çok dayanıklıdır, fakir topraklarda çok yavaş büyür. Doğal yayılış alanlarında çoğunlukla meyvelerinin sincaplar tarafından taşınıp gömülmesi sonucu çoğalır, yayılır. Ülkemizde olduğu gibi Amerika'da da kerestesi nedeniyle bu cevizler ormanlardan yok edilircesine çıkartılmışlardır. Meyvesi kalın kabuklu olduğu için değerli değildir. Son yıllarda ince kabuklu meyvelerinin geliştirilmesine ve yayılmasına çalışılmaktadır.

Juglans cinerea L. (Boz ceviz): 15-20 m'ye kadar boylanana, serbest büyüdüğünde kısa bir gövde üzerinde dağınık ve geniş tepe taşıyan bir ağaçtır. Açık gri renkli, derin çatlaklı kabuğu vardır. Yetiştirme yeri istekleri bakımından kara cevizle benzerse de, uzun ömürlü değildirler, 75 yaşından daha yaşlı fertlere pek rastlanmaz. Odunları beyaz ve yumuşaktır, bazı ev eşyaları ve mobilya yapımında kullanılmaktadır, kerestesi pek makbul değildir. Meyvenin dış kabuğundan kumaş boyamada yararlanılmaktadır, sarı veya portakal sarısı bir renk verir. Şeker akça ağacında olduğu gibi, bununda öz suyu kaynatılmak suretiyle tatlı bir şurup elde edilir.

Pterocarya. (Kanatlı cevizler): Kışın yaprağını döken ağaçlardır. Günümüzde bu cinsin Çin'de 6, Japonya'da 1, Batı Asya'da (Anadolu, Kafkasya ve Kuzey İran) 1 olmak üzere 8 türü vardır. Bu türlerden bazılarının odunları değerlidir. Bu cevizler, akcevizler gibi sulak yerleri, gevşek nemli toprakları severler. Yaşlı ağaçlar çok sayıda kök sürgünü verme özelliğine sahiptir.

Pterocarya fraxinifolia spach (Dişbudak yapraklı kanatlı ceviz veya yalankoz): 20-25 m boyunda geniş tepeli bir ağaçtır. Gövde kabuğu derin, boyuna

çatlaklıdır. Rutubetli balçık topraklarda hızlı büyüyen bir türdür. Kütük sürgünleri ile kolaylıkla çoğaltılabilir. Kafkasya, Batı İran'da yayılış gösterir. Türkiye'de Kuzey Anadolu'da; Kocaeli, Adapazarı, Akçakoca, Zonguldak, Samsun ; Güney Anadolu'da ise Mersin, Maraş ve Gaziantep dolaylarında doğal olarak bulunmaktadır.

Carya (Amerikan cevizleri): Günümüze gelebilen 16 türü vardır. Bunlardan 2 türü Çin ve Vietnam'da; 1 türü Meksika'nın yüksek dağlık bölgelerinde ; 13 türü de Kuzey Amerika'nın doğusunda bulunur. Bu nedenle carya tipik bir Amerikan cinsidir. Cinsin önemi, çok değerli kerestelik odun ürünün veren taksonları olmasındandır, bir kaç türünün meyveleri de yenir. Kuzey Amerika'da doğal yetişen 13 türden 9'u "gerçek akcevizler (*eucarya*)"; 4 türü ise "pecan akcevizleri (*apocarya*)" olmak üzere iki alt cinste toplanmıştır. Amerikan cevizleri ılıman iklimlerde yetişir. Önceleri yavaş büyürler, sürgün verme özelliğine sahiptirler. Derin, verimli ve nemli topraklarda iyi yetişirler. Açık renkli odunları dayanıklı sağlam ve elastikidir. Ancak ileri yaşlarda koyu renkli öz odunu oluşmaya başlar.

Carya ovata (Asma gövdeli Amerikan cevizleri): 15-20 m boy ve 60 cm çap yapabilen bir ağaçtır. Yaşlı gövdeler üzerinde kabuk koyu renkli, ince dar şeritler halinde çatlaklıdır ve levhalar halinde kalkar. Odunları sert, ağır, dayanıklıdır; öz odun kızılımtırak-kahverengindedir. Rutubetli, zengin ve derin topraklarda, göl ve su kenarlarında, taban suyu yüksek düzlüklerde ve yamaç eteklerinde çok iyi gelişir. Güney ve güneydoğu sahil kesimi dışında, Kuzey Amerika'nın doğusunda çok geniş bir yayılışı vardır. Serbest büyümüş ağaçlar hemen her sene meyve verebilir. Yayılışı sincap ve diğer kemirgenlerle olmaktadır. Genç ağaçlar kesildiğinde bol kütük sürgünü, yaşlı ağaçlarda zengin kök sürgünü verirler [121].

Ceviz ağacının yine ceviz olarak isimlendirilen meyvesi etlidir, etli bölümü önce yeşildir sonra kararır ve düşer. Bu kabuğun kurumması ve çatlaması meyvenin olgunlaştığını gösterir. Ceviz içi cevizin tohumudur, yenen kısmı da bu tohumdur. Cevizde % 70 oranında yağ ve % 15 oranında da azotlu maddeler vardır, kuvvetli ve zengin bir besin maddesidir. Kuru meyvelerden birisi olan cevizi; yağlı, nişastalı ve şekerli kuru meyveler olarak yapılan sınıflandırmada badem, fındık ve

fıstık ile birlikte yağlı kuru meyveler sınıfında değerlendirmek mümkündür. Türkiye’de elde edilen cevizin bir kısmı yurt içinde değerlendirilirken bir kısmı da başka ülkelere satılır. Cevizden oldukça lezzetli bir yağ elde edilir, ceviz yapraklarından tıbbi maddeler çıkartılır ve kerestesi ise mobilyacılıkta kullanılır. Mobilyacılıkta aranan ince yapılışlı kerestesi sert, ağır ve dayanıklıdır. Kolay biçilir, kolay cilalanır ve dalgalı bir görünüş alır [119-122].

5.2. Ülkemizde Ceviz Üretimi ve Ekonomik Değeri

Ülkemizin deniz kıyılarından başlayarak 2300 m yüksekliğe kadar çıkabilen ve çok geniş bir alanda yayılış gösterebilen tek ağacımız cevizdir. Hemen her ilimizde bulunan ceviz, ağacı ve üretimiyle en önde gelen illerimiz “Bingöl, Zonguldak, Bitlis, Bursa, Artvin, Kastamonu, Diyarbakır, Ordu, İzmir, Konya, Çorum, Malatya, Tunceli, Kahramanmaraş, Erzurum, Kayseri, Siirt, Manisa, Şanlıurfa ve Bolu”dur [123].

Çizelge 5.1’de 1980,1981 ve 1982 yılları için ceviz üreticisi ülkelerin yıllara göre ceviz üretimi verilmiştir. Ülkemiz çizelgede de görüldüğü gibi ceviz üretiminde ön sıralarda olmasına rağmen ihracatta daha geri sıralara düşmektedir. Bunun nedeni üretimin artırılmasının yanında kalitenin de yükseltilmesi gerekliliğidir. Şayet hasat konusunda da gerekli titizlik gösterilirse ülkemizin ihracatta da ilk sıraları alması işten bile değildir. Cevizin her şeyi ile ticarete çok iyi değerlendirilebilmesi için aşağıda verilen TSE standartları dahilinde üretimlerin yapılması ülkemiz ve üreticimiz yararına olacaktır:

- TS 151/Nisan 1983 Ceviz kütükleri ve tomrukları
- TS 1275/Kasım 1990 Kabuklu ceviz
- TS 1276/Mart 1991 Ceviz içi
- TS 8632/Aralık 1990 Meyve fidanları-ceviz

Çizelge 5.1. Önemli ceviz üreticisi ülkelerde yıllara göre ceviz üretimi [123]

ÜLKELER	Ceviz üretimi (*1000) TON		
	1980	1981	1982
A.B.D	178.7	204.1	204.1
TÜRKİYE	122.0	122.0	125.5
ÇİN	119.0	107.0	115.0
RUSYA	48.8	50.0	53.0
İTALYA	42.8	47.0	40.0
ROMANYA	37.0	34.1	35.0
FRANSA	31.0	15.0	31.0
MACARİSTAN	14.9	10.8	11.7
ALMANYA	13.3	12.0	16.5
ÇEKOSLAVAKYA	14.9	14.2	13.8
BULGARİSTAN	18.4	21.4	24.5
YUNANİSTAN	22.6	22.1	21.6
YUGOSLAVYA	17.5	17.5	17.5
HİNDİSTAN	16.0	16.0	16.0
İRAN	3.0	3.0	3.0
DÜNYA	776.8	724.5	791.5

Ülkemizin 1995-1999 yılları arasında ki ceviz üretimi Çizelge 5.2’de verilmiştir. 2000 yılında ise 120000 ton ile 116000 ton arasında bir üretim beklenmektedir [124].

Çizelge 5.2. Ülkemizde 1995-1999 yılları arasında ceviz üretimi [124]

YILLAR	Meyve veren ağaç sayısı (*1000)	Meyve vermeyen ağaç sayısı (*1000)	Üretim(Ton)
1995	3453	1067	110000
1996	3447	1047	115000
1997	3445	1050	115000
1998	3490	1155	120000
1999	3525	1300	120000

5.3. Cevizin Besin Değeri ve Kullanım Alanları

Cevizin tohumunda yedek besin maddesi yoktur, yedek besin çeneklerinde yani yenilen kısmında birikmiştir. Bu nedenle ceviz çok besleyici ve yağlı bir besin maddesidir. Protein, yağ, karbonhidrat gibi temel besin maddelerini, bir çok vitamin ve mineralleri içinde bulunduran cevizin 1 kilogramı yaklaşık 7000 kalori verir. Bu orta derecede çalışan bir insanın iki günlük enerji ihtiyacından fazlasıdır.

Meyvesinin bu derece besleyici ve kalorili olması nedeniyle eski Romalılar, cevizi bolluk sembolü saymışlar ve ona kral ceviz anlamına gelen “*juglans regia*” adını vermişlerdir. Çizelge 5.3’te 100 gr ceviz içinin bileşimi verilmiştir.

Çizelge 5.3. 100 gr ceviz içinin bileşimi [123]

Su (%)	3.5
Protein (gr)	14.8
Yağ (gr)	64.0
Karbonhidrat	
Toplam (gr)	15.1
Selüloz (gr)	2.1
Kül (gr)	1.9
Kalsiyum (mg)	99
Fosfor (mg)	380
Demir (mg)	3.1
Sodyum (mg)	2
Potasyum (mg)	450
Magnezyum (mg)	131
Vitamin A (I.U)	30
Thiamin (mg), (B1)	33
Riboflavin (mg), (B2)	13
Niacin (mg) (B3=pp)	9
Askorbik asit (mg), (C)	2
Enerji değeri (cal)	651

İnsan vücudunun gelişmesi ve onarımı ile özellikle enerjisi için gerekli olan yağ, cevizde büyük oranda bulunur. Bu oran cevizin cinsine göre % 59-77 arasında değişiklik gösterebilir ve bu yağın bileşiminde büyük ölçüde doymamış yağ asitleri bulunmaktadır. Çizelge 5.4’te ceviz yağında ki yağ asitlerinin dağılımı verilmiştir. Ceviz içlerinin preslenmesi ile yağ elde edilir. Bu yağlar iyi kalite yemeklik yağ olduğu halde, çabuk bozulma özelliğinde olduklarından kullanılmaları hayli zordur. Bu sebeple renkli şişelerde ve ağzı kapalı olarak korunur. Ceviz yağı bir çok özelliği yönünden kenevir tohumu yağına benzer. Ceviz yağının ; özgül ağırlığı (25⁰C’de) : 0.9235, kırılma indeksi (25⁰C’de) : 1.4751, iyot numarası : 158.5, sabunlaştırma numarası : 194.5, asit numarası : 15.5’tir [123].

Çizelge 5.4. Ceviz yağının asli yağ asitlerine dağılım oranı, (%) [123]

Doymuş Yağ Asitleri (8.83)			Doymamış Yağ asitleri (9.17)			
Myristic	Palmitic	Stearic	Oleic	Linoleic	Linolenic	Lignaceric
0.45	5.47	2.91	16.65	60.91	13.56	0.05

Cevizde protein oranı % 13-26 arasındadır, yağ oranı arttıkça protein oranı azalır. Ceviz proteini iyi kalite bir protein olup bileşiminde bulunan asli aminoasitler; tryptopan, valine, phenylalanine, leucini, lysine'dir.

Cevizde ki toplam karbonhidrat oranı %5-18 arasında değişmektedir. Bunun içinde ki selüloz oranı % 2-3 dolayındadır. Şeker ve nişasta oranları ise daha düşüktür. Bunlara ilaveten ceviz ağacının bütün yeşil ve büyüyen kısımları ile meyvenin olgunlaşmamış yeşil kabuğunda "juglone" denilen ve zehirleyici etkiye sahip olan bileşikler bulunur.

Ceviz hiç bir ağaç ve meyve türünde bulunmayan kullanım yerlerine sahiptir. Meyvesinin içi ile beraber, yeşil kabuğu ve sert kabuğu, gövdesi ile beraber kökleri, dalları ve yaprakları ile uzun yıllardır insanlığın hizmetinde olmuştur. Ceviz ağacının en az 90 yıl aralıksız verdiği meyve, yağ, yaprak gibi tali ürünlerinden sonra en son asli ürün olarak odunundan yararlanılır. Bu ürünler ve kullanım alanları aşağıda verilmiştir:

Yapraklar : Ceviz yaprakları, tanen ve boya endüstrisinde kullanılmaktadır. Yaralar için iyileştirici (antibiyotik) etkisi vardır. Aromatik kokusu nedeniyle kolonya ve parfümeri sanayinde kullanılmaktadır. Tıpta kabızlık için, kuvvet verici ve kan temizleyici olarak içten gargara ve banyo olarak dıştan kullanılmaktadır. Ceviz yaprağı karbon siyanür gazı çıkartmakta olup, bu gazda havadan ağır olduğundan dibe çökmektedir. Bu nedenle etrafı yüksek duvarlarla çevrili olan veya çukur bir yerde bulunan cevizlerin dibinde uzun süre oturulması sağlık açısından zararlı olabilir.

Yeşil cevizler : Özellikle meyvesi değerlendirilmeyen cevizler olgunlaşmadan fındık iriliğinde iken reçel yapımında kullanılır. Yeşil cevizlerin içinde ki kabuk sertleşmeden önce gıda ve ilaç endüstrisinde kullanılır. Eskiden yeşil ceviz kabuğu ; yünü, odunu ve saçları sarıya boyamak içinde kullanılmıştır.

Taze iç ceviz : Taze iç cevizlerden reçel ve sübye yapılmaktadır.

İç ceviz : Beslenme ve insan sağlığı yönlerinden pek çok faydası olan iç ceviz mutfaklarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Su sızdıran herhangi bir çatlak veya yarığa ceviz içi sürülürse, kilden, sakız ve mumdan daha etkili bir şekilde akıntıyı durdurduğu görülecektir.

Ceviz yağı : Ülkemizde 40-50 yıl öncesine kadar ceviz yağı üretiliyor olmasına rağmen günümüzde diğer ceviz yetiştiriciliği yapan ülkelerin aksine ceviz yağı üreten yerler kalmamıştır.

Ceviz yağı, ceviz içlerinin kabuktan ayrılması sırasında yenilmez olarak ayrılan ceviz içleri ile kabukların içlerinde kalmış ceviz içleri parçalarının çıkarılıp preslenmesi ile elde edilir. İlk presleme işlemi sonrasında elde edilen yağ temiz yağdır. İkinci presten sonra elde edilen yağlar ressamlıkta, sabun sanayinde ve aydınlatmada kullanıldığı gibi bozulan ceviz yağları ile bozuk cevizlerden elde edilen yağlarda aynı amaçla kullanılabilir. Küşesi ise hayvanlara yem olarak verilir veya yakacak olarak kullanılır.

Ceviz yağı, sıvı yağ olarak yemeklik yağ olabileceği gibi; kozmetik sanayi ve ilaç sanayinde de kullanılabilir. Ceviz yağları iyi kalitede yemeklik yağ oldukları halde, çabuk asitlendiği ve fazla nem çektiği için diğer yemeklik yağlar gibi uzun süre saklanamaz, buda kullanılma imkanlarını kısıtlamaktadır. Oksidasyonla çabuk bozulmasının nedeni ise bileşimindeki katalitik etkiye sahip maddelerin bolluğudur.

Katı ceviz yağı, kösele tabakalamada kullanılır. Ceviz yağı, keten yağına benzer özelliklere sahip olduğundan deri ve boya sanayinde kullanılır. Ceviz yağı katalizör çşliğinde styrenle reaksiyona girerek mükemmel bir styrenleşmiş yağ oluşturur, buda vernikte ve reçinede kullanılır.

Kökler : Ceviz ağacının kökleri, tanen ve boya endüstrisinde kullanılmaktadır. Ceviz ağacı köklerinden elde edilen juglandin maddesi, tıpta safra salgısını arttırıcı olarak kullanılmaktadır.

Cevizin sert kabukları : Cevizin sert kabukları ufaltılarak polyesterlerle karışımı; sert, dekoratif kaplama malzemesi elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Değişik iriliklerde öğütülen sert kabuklar, yanıcı maddelerin arasına karıştırılarak değerlendirilmektedir. Ceviz kabuğu ; plastik dolgularda, pil kutularında, endüstriyel örtü imalinde ve kürk temizleyici olarak kullanılmaktadır.

Ceviz sert kabuklarından yapılmış olan radyo, radyo hoparlörleri titreşimi süzmekte diğer materyallerden yapılmış olanlara göre daha etkili ses vermektedir. Ceviz kabuk tozları, zirai insektisitleri (böcek ilacı) seyreltici ve yayıcı olarak kullanılmak amacıyla % 5 oranında kütinin varlığında toksik maddeleri absorbe etme ve tutma yeteneğinde olduğu için ticari ölçüde üretilmektedir. Alüminyum, reçineli materyal ve ceviz kabuğu tozundan pratik bir döşeme örtüsü geliştirilmiştir. Ceviz kabuğu kömürü, kauçuk endüstrisinde ve sirke endüstrisinde iyi bir süzücü olarak kullanılmaktadır. Sert kabuklu ceviz meyvesinden ve içi çıkarıldıktan sonra kabuklarından çeşitli süsler yapılmaktadır. Metal yüzeylerinin temizlenmesi amacıyla uygulanan kumlama işleminde kullanılan meyve kabuklarından biriside ceviz kabuğudur.

Ceviz ağacının kökünden, gövde kabuklarından, yapraklarından ve meyvesinin yeşil kabuklarından boya yapılır. Bunların arasında en yaygın olarak kullanılan ve haslık derecesi en yüksek olan meyve kabuklarıdır. Kabuklar üzerinde siyah lekeler belirmeye ve çatlamaya başladığı zaman toplanır, hemen kullanılmayacaksa kurutularak yada kapalı bir kapta saklanabilir.

Ceviz kabuklarında “juglon”denilen bir boyar madde mevcuttur. Bu boyar madde izosikl bileşikler grubundan naftakinon boyar maddelerdendir. Bitkilerde bulunan naftakinon boyar maddelerin destilasyonu ile naftalin elde edilir.

Kütük ve tomrukları : Kütük, ceviz ağacının üzerinde kök bölümü bulunan ve özellikle kaplama levha yapımına uygun gövde kısmıdır. Tomruk ise ceviz ağacının gövde ve dallarından elde edilen ve üzerinde kök bölümü bulunmayan yuvarlak odundur.

Ceviz ağacı derine giden kazık kök yapması nedeniyle desenli kütük verme özelliğine sahiptir. Gövde ile beraber değerlendirilmeyen kök kısımları, silah kabzası yapımında kullanılır. Çok sert ve desenli olduğundan bu tür kabzalar tercih edilmektedir. Kalın çaplı, sağlam ve özellikle ur gibi şişliklere sahip kütüklerden kesme ve soyma şeklinde kaplama levhaları elde edilmektedir. Silah sanayinde çok kullanılan cevizin tomruklarından kundak ve dipçik yapılmaktadır. Ceviz tomruklarından parke ve farklı ebatlarda elde edilen elementler imal edilip yarı mamul halde ihraç edilmektedir. Ülkemizde ceviz tomrukları geçmişte daha

çok sandık yapımında kullanılırken günümüzde mobilya sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır [120-123-125].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, meyvesi yaygın bir kullanım alanına sahip olan ceviz bitkisi kabuğunun “*juglans*” alternatif enerji kaynağı ve kimyasal endüstri girdisi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Ceviz kabuklarının alternatif enerji kaynağı olarak incelenmesi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada örnekte bulunan nem, uçucu madde, sabit karbon, kül, ham selüloz miktar tayinleri yapılarak örneğin özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca hammaddenin elementel analizi yapılmış ve ısı değeri hesaplanmıştır.

İkinci aşamada ise, örneğe piroliz işlemi uygulanmıştır. İlk grup çalışma sabit yatak reaktörde yavaş piroliz koşullarında, normal piroliz ortamı (statik) ve sürükleyici gaz (N₂) ortamlarında gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki çalışmalar ise sabit yatak borusal reaktörde hızlı piroliz koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda piroliz sıcaklığı, parçacık boyutu, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızı gibi değişkenlerin piroliz ürünlerinin verimleri üzerine etkisi belirlenmiş ve sıvı ürün verimi göz önüne alınarak en uygun piroliz koşulları araştırılmıştır.

Deneylerde elde edilen sıvı ürünün (katran) IR (Infrared) ve ¹H NMR (Nuclear Magnetic Resonance) spektrumları alınmış, elementel analizi yapılmış ve ısı değeri belirlenmiştir.

Daha sonra katran sütun kromatografisinde fraksiyonlarına ayrılarak, fraksiyonların verimleri hesaplanmış, IR spektrumları ve gaz kromatogramları alınmış ve elementel analizleri gerçekleştirilerek molar gösterimleri ortaya konulmuştur. Ayrıca sıvı ürün pentan eluatının benzetimli distilasyonu, gaz kromatografisi yardımıyla gerçekleştirilerek, ham petrol türevlerinden dizel yakıtla benzerliği araştırılmıştır.

6.1. Kullanılan Örneğin Özellikleri

Çalışmada kullanılan ceviz kabuklar; *dicotyledoneae* (çift çenkliler) sınıfının, *juglandales* (cevizler) takımının, *juglandaceae* (cevizgiller) familyasının, *juglans* (ceviz) cinsinin, *juglans regia* L. (adi ceviz, Anadolu

cevizi, İnan cevizi ve İngiliz cevizi) türüne ait olup, ülkemizin hemen her bölgesinde yetişebilen ceviz meyvesine ait kabuklar, Bilecik yöresinden alınarak laboratuarda gölgede kurumaya bırakılmış daha sonra öğütülerek stoklanmıştır.

6.1.1. Boyut küçültme ve elek analizi

Ceviz kabukları, Retsch marka SK-1 type değirmende öğütüldükten sonra Retsh-Vibra AS 200 basic ASTM elek setinde parçacık boyutu $D_p < 0.224$, $0.224 < D_p < 0.6$, $0.6 < D_p < 1.25$, $1.25 < D_p < 1.8$ ve $D_p > 1.8$ mm olacak şekilde elenmiş ve ayrıca uygulanan elek analizi sonucunda ortalama parçacık boyutu belirlenmiştir.

6.1.2. Ceviz kabuklarında nem tayini

Sabit tartıma getirilmiş olan saat camına analiz için hazırlanan örneklerden %0.2 duyarlılıkta bir miktar alınarak $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'e ayarlanmış etüvde bekletilir. Etüve konulan örnek 2 saat arayla desikatörde soğutularak tartılır ve bu işleme istenilen duyarlılıkta ağırlık kaybı olana kadar devam edilir. Örneğin nem miktarı ağırlık yüzdesi olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır [126].

$$\text{Nem (\%)} = [(A-B/A)] * 100 \dots \dots \dots (6.1)$$

Burada ;

A : Kurutma işleminden önce örneğin ağırlığı, (g)

B : Kurutma işleminden sonra örneğin ağırlığı, (g)

6.1.3. Ceviz kabuklarında uçucu madde tayini

Sabit tartıma gelmiş kroze içine havada kurutulmuş örnekten 0.0001 g hassasiyetiyle yaklaşık 1 g tartılır. Kroze kapağı ile örtülerek $950 \pm 20^{\circ}\text{C}$ 'de ki fırına yerleştirilir. Kroze fırında olarak 7 dakika tutulduktan sonra fırından çıkarılarak desikatörde soğutulur. Soğutma işleminin 15 dakikayı geçmemesine

dikkat edilmelidir. Örnekteki uçucu madde miktarı aşağıda ki formül ile hesaplanır [127].

$$\text{Uçucu madde miktarı (\%)} = \left[\frac{(A-B)}{A} - M \right] * 100 \dots\dots\dots(6.2)$$

Burada ;

A : Örneğin ağırlığı, (g)

B : Örneğin işlem sonundaki ağırlığı, (g)

M : Örneğin nemi, (%)

6.1.4. Ceviz kabuklarının toplam kül tayini

Delik büyüklüğü 0.425 mm olan elekten geçecek şekilde öğütülen örnekten yaklaşık 2 g tartılır ve daha önce 600⁰C fırında, 0.1 mg hassasiyetle sabit tartıma getirilmiş kroze konulur. Kroze ile birlikte tartımı alınan örnek 100±5⁰C'de ki etüve konulur. 1 saat sonra krozenin kapağı kapatılarak desikatöre alınır ve tartılır. İki işlem arasında ki fark 0.1 mg oluncaya kadar işlem tekrarlanır. Daha sonra içinde ki karbon uzaklaşmaya kadar kroze kapağı açık olarak fırında yakılır. Fırın sıcaklığı 580-600⁰C arasında olmalı ve örneğin alev almasını önlemek için ısıtma işlemi yavaş yapılmalıdır. Kroze kapağı kapatıldıktan sonra desikatörde soğutulur, 30 dakikalık aralıklarla iki tartım arasındaki fark 0.2 mg oluncaya kadar işlem tekrarlanır. Kül, ağırlık yüzdesi olarak aşağıda ki formülden hesaplanır [128].

$$\text{Kül (\%)} = \left(\frac{W_1}{W_2} \right) * 100 \dots\dots\dots(6.3)$$

Burada ;

W₁ : Kül ağırlığı, (g)

W₂ : Fırında ki kuru örneğin ağırlığı, (g)

6.1.5. Ceviz kabuklarında ham selüloz miktarı tayini

Öğütülmüş olan örnekten 0.001 g duyarlılıkta 3 g alınır. 200 ml 0.255 N H₂SO₄ çözeltisi ile kaynatılır, daha sonra süzülür. Süzgeç kağıdı saf su ile yıkanır. Yıkanmış olan örnek kaynatma kabında 200 ml 0.313 N NaOH çözeltisi ile kaynatıldıktan sonra tekrar süzülür. Saf su ile yıkandıktan sonra bir kez daha 25 ml H₂SO₄ ile yıkanır ve etanol ile susuzlaştırılır. Süzgeç kağıdında kalan kısım daha önce sabit tartıma getirilmiş yakma kapsülüne alınır ve bu kapsül 103±2°C sıcaklıkta etüvde iki tartım arasında ki fark 0.001 g oluncaya kadar tutulur. Bu etüvde kurutma işleminden sonra 550±15°C'de kapsül sabit tartıma gelinceye kadar yakma işlemine devam edilir. Ham selüloz miktarı ağırlıkça % olarak aşağıdaki formül ile hesaplanır [129].

$$\text{Ham selüloz miktarı (\%)} = (M_1 - M_2) / M_0 * 100 \quad \text{.....(6.4)}$$

Burada ;

M₀ : Örneğin ağırlığı, (g)

M₁ : Kurutma işleminden sonra kapsül ve külün toplam ağırlığı, (g)

M₂ : Yakma işleminden sonra kapsül ve külün toplam ağırlığı, (g)

6.1.6. Elementel analiz

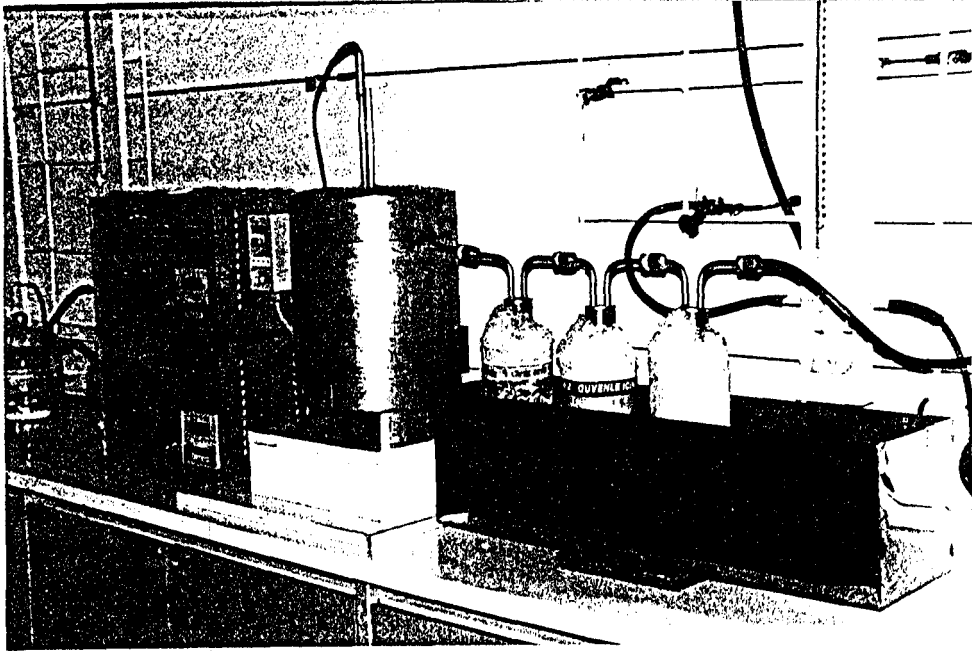
Hammaddenin içerdiği karbon, hidrojen, azot ve oksijen miktarlarını belirlemek amacıyla, ceviz kabuklarının elementel analizi Fisons EA 1108 cihazında yapılmıştır.

6.2. Hammaddenin Piroлиз

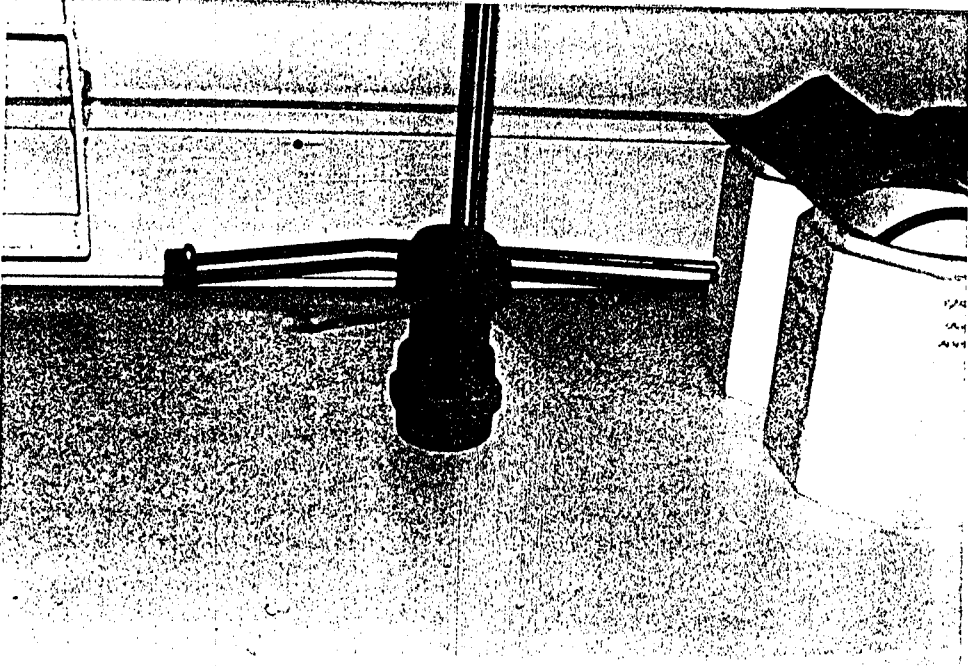
Ceviz kabuklarına, alternatif enerji ve kimyasal hammadde kaynağı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla piroliz işlemi uygulanmıştır. Birinci grup, yavaş piroliz koşullarındaki piroliz işlemleri 316 paslanmaz çelikten yapılmış 250 cm³ hacmindeki retort ve bu retordu çevreleyen 2000 watt ısıtıcı rezistanslı, izolasyonu yapılmış fırında gerçekleştirilmiştir. Konik ağızlı retort

çıkış borusu, sıvı ürünün burada yoğunlaşmasını önlemek amacıyla 600 watt'lık bir ısıtıcıyla çevrelenmiştir. Konik ağza teflon bant sarılarak katranın toplandığı toplama şişelerine sızdırmaz bağlantı sağlanmıştır. Piroliz deney düzeneği Şekil 6.1'de, retort ise Şekil 6.2'de görülmektedir.

İkinci grup, hızlı piroliz koşullarındaki, piroliz işlemlerinde; 0.8 cm iç çapında 80 cm boyunda 310 paslanmaz çelikten yapılmış, uçlardan ısıtmalı sabit yatak borusal reaktör kullanılmıştır. Deney süresince reaktör sıcaklığının kontrol edilebilmesi amacıyla, borusal reaktörün ortasında bulunan ısıl-çift ile yatağın hemen üstünde sıcaklık ölçümü yapılmış, K tipinde 1.5 mm dış çapında ısıl çift kullanılmıştır. Isıl çiftlerden alınan sıcaklık ölçümleri denetleme panelinde bulunan sayısal göstergelerle izlenmiştir. Deneysel olarak kullanılan uçlardan ısıtmalı reaktörün uçları 3.5 KV'a enerji verebilen trafoya 2 cm çaplı kablolarla bağlı olup, bu trafo istenilen şekilde kontrol etme yeteneğine sahip olan Commander-300 kontrol ünitesi ile kontrol edilebilmektedir. Deney sistemindeki tüm bağlantılar konik sızdırmaz bağlantı elemanları olup, sürükleyici gaz boru hattında FT-37 hidrolik çekme boru kullanılmıştır. Reaktöre girmeden önce akış hızının tam olarak ayarlanabilmesi için 316 paslanmaz çelik Swagelok iğne vana kullanılmıştır. Piroliz deney düzeneği Şekil 6.3'de görülmektedir.



Şekil 6.1 Sabit yatak piroliz deney düzeneği



Şekil 6.2 Sabit yatak piroliz retortu



Şekil 6.3 Sabit yatak borusal reaktör dency düzenęi

6.2.1. Sabit yatak reaktörde yavaş piroliz koşullarında yapılan çalışmalar

Birinci grup yavaş piroliz koşullarında yapılan çalışmalar, normal piroliz ortamı ve sürükleyici gaz (N_2) ortamında yürütülmüştür. Değirmende öğütülmüş ve ortalama parçacık boyutu belirlenmiş ceviz kabuklarından 10 g tartılarak retorda konulmuştur. Retort fırın içine yerleştirilmiş ve piroliz düzeneğinin diğer birimleriyle bağlantılar yapılmıştır. Daha sonra ayar noktasından istenen piroliz sıcaklığı ve istenen ısıtma hızına göre sisteme uygulanacak voltaj ayarlanmıştır. Piroliz sıcaklığı istenilen değere geldikten sonra 30 dakika daha bu sıcaklıkta bekletilmiş, gaz çıkışı kontrol edilerek deneye son verilmiştir. Deney süresince sistemi terk eden gaz ürün akış debisi ve retort sıcaklığı sürekli olarak ölçülmüştür.

Piroliz işlemi sonucunda, sıvı toplama şişelerine toplanan sıvı ürün (katran+su) karışımından su ayrılmış ve miktarı ölçülmüştür. Katran (tar) diklorometan ile yıkanarak alınmış ve daha sonra çözücüsü rotavaporda uzaklaştırılarak sıvı ürün (katran) verimi belirlenmiştir. Retortta kalan katı ürün (char) tartılarak katı ürün verimi bulunmuştur. Gaz ürün verimi toplam kütle denkliğinden hesaplanmıştır.

Ceviz kabuğunun pirolizi değişik piroliz şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler öncelikle +0.6-1.25 mm ortalama parçacık boyutundaki örnekte düşük ısıtma hızı $7^{\circ}C/dk$ ve yüksek ısıtma hızı $40^{\circ}C/dk$ 'da; 350, 400, 500, 550, 700 $^{\circ}C$ piroliz sıcaklıklarında gerçekleştirilmiş ve böylece piroliz sıcaklığının ve ısıtma hızının ürün verimleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Daha sonra piroliz deneyleri $500^{\circ}C$ piroliz sıcaklığı sabit tutularak, düşük ısıtma hızı $7^{\circ}C/dk$ ve yüksek ısıtma hızı $40^{\circ}C/dk$ 'da; $D_p < 0.224$, $0.224 < D_p < 0.6$, $0.6 < D_p < 1.25$, $1.25 < D_p < 1.8$ ve $D_p > 1.8$ mm olmak üzere beş farklı parçacık boyutunda çalışılarak, parçacık boyutunun ve ısıtma hızının ürün verimlerine etkisi araştırılmıştır.

Bir sonraki aşamada çalışmalar sürükleyici gaz ortamında yürütülmüştür. Bu gruptaki deneylerde düşük ısıtma hızı $7^{\circ}C/dk$ ve yüksek ısıtma hızında $40^{\circ}C/dk$, piroliz sıcaklığı $500^{\circ}C$ ve parçacık boyutu +0.6-1.25 mm olarak alınmış ve çalışmalar 50, 100, 200, 400 cm^3/dk azot akış hızlarında gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, en uygun koşullar olan, piroliz sıcaklığı 500°C , ısıtma hızı $40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ve azot akış hızı $100\text{ cm}^3/\text{dk}$ alınarak; $D_p < 0.224$, $0.224 < D_p < 0.6$, $0.6 < D_p < 1.25$, $1.25 < D_p < 1.8$ ve $D_p > 1.8$ mm olmak üzere beş farklı parçacık boyutunda çalışılarak, parçacık boyutunun etkisi sürükleyici gaz atmosferinde kontrol edilmiştir.

6.2.2. Sabit yatak borusal reaktörde hızlı piroliz koşullarında yapılan çalışmalar

İkinci grup, hızlı piroliz koşullarında yapılan deneyler sabit yatak borusal reaktörde yürütülmüştür. Piroliz işleminde kullanılan hammadde, değirmende öğütülmüş ve belli parçacık boyutunda olan numuneden 3g tartılarak, reaktörün içine yerleştirilen çelik yünü üzerine konulmuştur. Piroliz düzeneğinin diğer birimleriyle gerekli bağlantılar yapılarak deney gerçekleştirilmiştir.

Deneye başlamadan önce sürükleyici gaz akış hızı, rotametre ile ayarlanmıştır. Kontrol panelinden istenen piroliz sıcaklığı ve ısıtma hızı ayarlanarak deney süresince, kontrol altında kalmaları sağlanmıştır. Piroliz sıcaklığı istenen değere geldikten sonra, tepkimenin tamamlanması için 10 dakika daha bu sıcaklıkta beklenilmiş, gaz çıkışının olmadığı gözlemlendikten sonra deneye son verilmiştir.

Piroliz işlemi sonunda, spiral soğutmalı tuzaklarda birikmiş olan sıvı ürün-su karışımından su ayrılmış, sıvı ürün (katran) diklorometan ile yıkanarak alınmış, döner buharlaştırıcıda çözücüsü uzaklaştırılmış ve sıvı ürün verimi belirlenmiştir. Reaktör, deney başında ve sonunda tartılarak katı ürün verimi, ağırlık kaybından hesaplanmıştır. Gaz ürün verimi ise, toplam kütle denkliğinden belirlenmiştir.

Hızlı piroliz çalışmalarında öncelikle piroliz sıcaklığının ve ısıtma hızının piroliz ürün verimlerine etkisini incelemek amacıyla, $100\text{cm}^3/\text{dk}$ azot akış hızında, $+0.6-1.25$ mm parçacık büyüklüğündeki örneğe 100 , 300 ve $800^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ 'lık ısıtma hızlarında 350 , 400 , 500 , 550 ve 700°C olmak üzere beş farklı piroliz sıcaklığında piroliz işlemi uygulanmıştır.

Daha sonra, parçacık boyutunun piroliz ürün verimlerine etkisini incelemek amacıyla 100 , 300 ve $800^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ 'lık ısıtma hızlarında, $100\text{cm}^3/\text{dk}$ azot

akış hızında, 500⁰C piroliz sıcaklığında, $D_p < 0.224$, $0.224 < D_p < 0.6$, $0.6 < D_p < 1.25$, $1.25 < D_p < 1.8$ ve $D_p > 1.8$ mm olmak üzere beş farklı parçacık büyüklüğündeki örneğe piroliz işlemi yürütülmüştür.

Sabit yatak borusal reaktörde hızlı piroliz koşullarında, 300⁰C/dk ısıtma hızı, 500⁰C piroliz sıcaklığı ve +0.6-1.80 mm partikül büyüklüğü koşullarında sürükleyici gaz akış hızının ürün verimlerine etkisini incelemek amacıyla 50, 100, 200 ve 400 cm³/dk'lık azot akış hızlarında piroliz işlemi uygulanmıştır.

Yapılan tüm deneylerde piroliz dönüşüm verimi, katı ürün, sıvı ürün, gaz ürün ve oluşan su verimleri en az üç deneyin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Çalışmalarda sıvı ürün veriminin artırılması düşünülerek en uygun piroliz koşulları araştırılmıştır.

6.3. Sıvı Ürünün İncelenmesi

Çalışmalarda elde edilen sıvı ürünün yapısının belirlenmesi ve bunun yanında diğer sıvı yakıtlarla karşılaştırılabilmesi amacıyla çeşitli kromatografik ve spektroskopik yöntemler uygulanmıştır. Ayrıca piroliz sıvı ürünü pentan eluatının benzetimli distilasyonu gerçekleştirilmiştir.

6.3.1. Sıvı ürün infrared spektrumu (IR)

Piroliz sıvı ürünlerinin fonksiyonel gruplarının belirlenebilmesi amacıyla IR spektrumları Jasca FTIR-300E Infrared spectrophometer cihazında KBr disk kullanılarak alınmıştır.

6.3.2. Sıvı ürün elementel analizi

Piroliz sıvı ürünlerinin içerdiği karbon, hidrojen, azot ve oksijen miktarlarını belirlemek üzere Fisons EA 1108 elementel analiz cihazı ile elementel analizleri yapılmıştır.

6.3.3. Sıvı ürün ¹H NMR spektrumu

Piroliz katranının farklı kimyasal yapılarıdaki hidrojen ve karbon bağlarını belirlemek amacı ile ¹H NMR spektrumları Jeol JNM-EX90A FT NMR System cihazı ile alınmıştır.

6.3.4. Sıvı ürün sütun kromatografisi

Ceviz kabuğunun piroliz sıvı ürününün içerdiği alifatik, aromatik ve polar bileşikleri ayırabilmek amacı ile sütun kromatografisi uygulanmıştır.

70-230 mesh parçacık boyutundaki silikajel 600⁰C'de 4 saat aktive edilmiştir. Piroliz katranından 1 g örnek hassas olarak tartılmış ve n-pentanda çözünebilen kısım tamamen çözünerek çözünmeyen kısmı ayrılmıştır. Çözünen kısmın çözücüsü uçurularak kalan kısım tartılmış ve n-pentanda çözünenlerin verimi hesaplanmıştır. Daha sonra silikajel ile karıştırılarak önceden hazırlanmış sütuna yüklenmiştir.

Sütun kromatografisi uygulanarak alifatik, aromatik, ve polar fraksiyonlarına ayrılması sağlanmıştır. Bu ayırma işleminde sırasıyla yaklaşık 200'er ml olmak üzere n-pentan, toluen ve metanol çözücülerini kullanılmıştır. Sütun kromatografisi normal ortam ve sürükleyici gaz ortamı (N₂) ile hızlı piroliz sıvı ürünlerine ayrı ayrı uygulanmıştır.

6.3.4.1. Sütun kromatografisi eluatlarının IR spektrumu

Piroliz sıvı ürünlerinin n-pentanda çözünenler kısmının sütun kromatografisi sonucunda elde edilen n-pentan, toluen ve metanol eluatının IR spektrumu Jasca FTIR-300E Infrared spectrophometer cihazı ile KBr diskte alınmış ve fonksiyonel gruplar belirlenmiştir.

6.3.4.2. Sütun kromatografisi pentan eluatlarının gaz kromatografisi

Piroliz sıvı ürününün n-pentanda çözünenler kısmının sütun kromatografisi sonucunda elde edilen n-pentan eluatının gaz kromatografisi HP 5890 Series II gaz kromatografisinde alınmış ve karbon dağılımı standart dizel ile karşılaştırılarak belirlenmiştir.

6.3.4.3. Sütun kromatografisi eluatlarının elementel analizi

Piroliz sıvı ürünün n-pentanda çözünenler kısmının sütun kromatografisi sonucunda elde edilen n-pentan, toluen ve metanol eluatlarının elementel analizi Fisons EA 1108 elementel analiz cihazı ile karbon, hidrojen, azot ve oksijen analizleri gerçekleştirilmiştir.

6.3.5. Sıvı ürün pentan fraksiyonunun benzetimli distilasyonu

Piroliz sonucunda elde edilen sıvı ürünün kimyasal hammadde girdisi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi ve diğer yakıt kaynakları ile karşılaştırılabilmesi için sıvı ürün pentan eluatının, dizel yakıt ile simule edilmiş distilasyon eğrileri standart yöntem kullanılarak gaz kromatografisinde alınmıştır [130].

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR DAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Bu bölümde, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Öncelikle deneylerde kullanılan biyokütle adayı ceviz kabuklarının nem, uçucu madde, sabit karbon, kül, ısı değeri tayini ve elementel analiz sonuçları verilerek hammadde tanıtılmıştır. Hammaddenin özellikleri belirlendikten sonra, piroliz deneylerinden elde edilen sonuçlar çizelgeler halinde verilmiş, piroliz ürün verimlerine; piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, parçacık boyutu, sürükleyici gaz akış hızının etkisi farklı grafiklerde gösterilerek tartışılmıştır. Daha sonra elde edilen sıvı ürün üzerinde yapılan spektroskopik ve kromatografik çalışma sonuçları verilmiş ve petrol türevi sıvı yakıtlarla karşılaştırılması yapılmıştır.

7.1. Kullanılan Örneğin Özellikleri

Ceviz kabuğunda yapılan nem, uçucu madde, toplam kül ve ham selüloz tayinlerinin sonuçları ve gerçekleştirilen elementel analiz sonuçları, kuru külsüz temel üzerinden, sırası ile Çizelge 7.1 ve 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Ceviz kabuğu analiz sonuçları

Analiz	%Ağırlık
Nem	7.5
Uçucu madde	74.9
Sabit karbon	16.3
Kül	1.3
Ham selüloz	62.8

Çizelge 7.2. Ceviz kabuğunun elementel analizi

Bileşen	%
C	51.25
H	6.50
N	0.36
O	41.89
H/C	1.52

7.2. Isıl Değer Sonuçları

Ceviz kabuğu, sıvı ürün ve katı ürün ısı değerleri Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3. Ceviz kabuğu, sıvı ürün ve katı ürün ısı değerleri

Hammadde	Isıl Değer(MJ/kg)
Ceviz kabuğu	19.2
Sıvı ürün	31.4
Katı ürün	28.2

7.3. Piroliz Dency Sonuçları

Ceviz kabuğu ile yapılan bu çalışmada, farklı reaktörlerde, yavaş ve hızlı piroliz koşullarında piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, parçacık boyutu ve sürükleyici gaz akış hızının piroliz ürünlerinin verimlerine ve özelliklerine olan etkisi incelenmiştir.

Yapılan çalışmalarda piroliz deneyleri iki grupta yürütülmüştür. Bu bölümde, sabit yatak reaktörde yavaş piroliz koşullarında, normal piroliz ortamı (statik) ve sürükleyici gaz ortamı çalışmaları ve sabit yatak borusal reaktörde hızlı piroliz koşullarında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar sırasıyla verilmiştir.

7.3.1. Sabit yatak reaktörde yavaş piroliz koşullarında yapılan çalışmalar

Yavaş piroliz koşullarında yapılan çalışmalarda piroliz sıcaklığının, ısıtma hızının, parçacık boyutunun ve azot akış hızının etkisi ayrı ayrı incelenmiştir.

7.3.1.1. Piroliz sıcaklığının ve ısıtma hızının ürün verimlerine etkisi

Piroliz sıcaklığının ve ısıtma hızının ürün verimlerine etkisini incelemek amacıyla sabit yatak reaktörde düşük ısıtma hızı ($7\text{ }^{\circ}\text{C/dk}$) ve yüksek ısıtma hızında ($40\text{ }^{\circ}\text{C/dk}$), $+0.6-1.25\text{ mm}$ parçacık boyutundaki örneğe $350, 400, 500, 550, 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmak üzere beş farklı piroliz sıcaklığında piroliz işlemi uygulanmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen ürün dağılımları Çizelge 7.4 - 7.13'de verilmiştir.

Çizelge 7.4. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 350°C Isıtma hızı : $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.6-1.25\text{mm}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	62.06	37.94	15.46	22.48	24.12
2	62.83	37.17	14.74	22.48	25.61
Ort.	62.44	37.56	15.10	22.48	24.86

Çizelge 7.5. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 400°C Isıtma hızı : $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.6-1.25\text{mm}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	63.71	36.29	16.39	22.80	24.52
2	64.04	35.96	16.20	23.12	24.72
3	64.91	35.09	16.50	22.8	25.61
4	65.02	34.98	16.70	22.48	25.84
Ort.	64.42	35.58	16.45	22.80	25.17

Çizelge 7.6. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.6-1.25\text{mm}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	67.87	32.13	17.20	23.57	27.10
2	68.31	31.69	17.22	23.57	27.52
3	67.87	32.13	17.35	21.93	28.59
4	67.98	32.02	17.40	23.57	27.01
5	68.53	31.47	17.35	22.48	28.70
6	67.54	32.46	17.10	21.93	28.51
Ort.	68.02	31.98	17.27	22.84	27.90

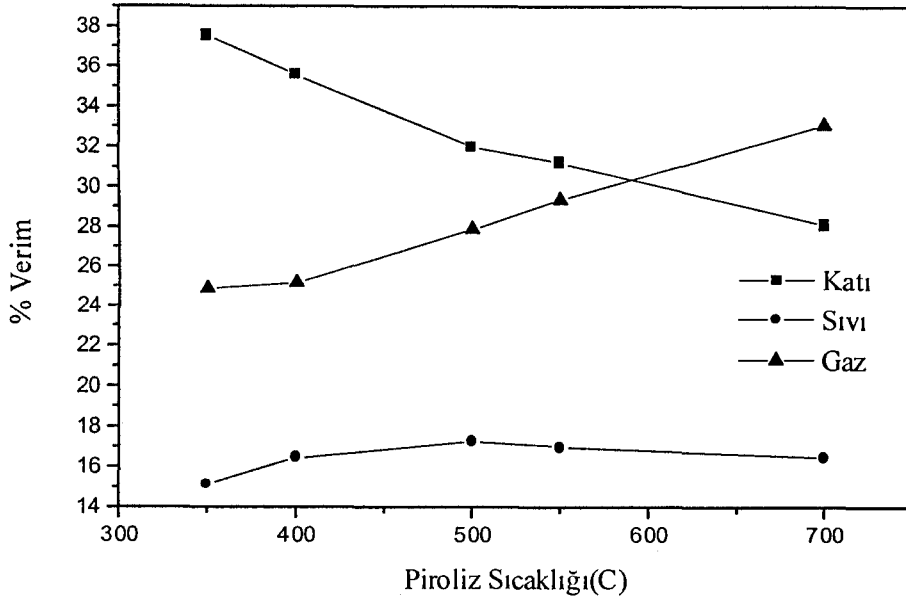
Çizelge 7.7. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 550°C Isıtma hızı : $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.6-1.25\text{mm}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	69.41	30.59	16.75	23.57	29.09
2	69.08	30.92	17.1	22.48	29.5
3	68.42	31.58	17.27	21.93	29.22
4	68.31	31.69	16.8	21.93	29.58
Ort.	68.80	31.20	16.98	22.48	29.35

Çizelge 7.8. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 700°C Isıtma hızı : $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.6-1.25\text{mm}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.26	27.74	16.23	22.48	33.55
2	72.04	27.96	16.62	22.48	32.94
3	71.38	28.62	16.56	22.09	32.73
Ort.	71.89	28.11	16.47	22.35	33.07

Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 7.1'de verilmiştir. Şekil 7.1'de düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) piroliz sıcaklığına karşı katı, sıvı ve gaz ürün verimleri grafiğe geçirilmiştir. Piroliz sıcaklığının artmasıyla piroliz dönüşümünde de artış gözlenmiş 350°C 'de %62.44 olan piroliz dönüşümü 500°C 'de % 68.02'ye, 700°C 'de ise %71.89 değerine ulaşmıştır. En yüksek sıvı ürün verimine %17.27 değeri ile 500°C piroliz sıcaklığında ulaşılmıştır. Piroliz sıcaklığının 550°C 'ye yükseltilmesi ile sıvı ürün veriminde belirgin bir değişim gözlenmemiş, ancak sıcaklığın 700°C 'ye çıkarılması ile sıvı ürün veriminde bir azalma gözlenmiş ve %16.47 değerini almıştır. Piroliz sıcaklığının artmasıyla beraber gaz ürün veriminde bir artış görülmüş ve 500°C 'de %27.9 olan gaz ürün verimi 700°C 'de %33.07 değerine ulaşmıştır. Böylece sıcaklıkla piroliz dönüşümünde görülen artış kendini gaz ürün olarak göstermiştir.



Şekil 7.1. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen piroliz ürün verimleri

Çizelge 7.9. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 350°C Isıtma hızı : $40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.6-1.25\text{ mm}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	65.80	34.20	17.88	24.67	23.25
2	66.44	33.56	18.20	23.57	24.67
Ort.	66.12	33.88	18.04	24.12	23.96

Çizelge 7.10. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 400°C Isıtma hızı : $40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.6-1.25\text{ mm}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	68.53	31.47	19.90	24,20	24.43
2	66.78	33.22	19.10	24,20	23.48
Ort.	67.66	32.34	19.50	24,20	23.96

Çizelge 7.11. Yüksek ısıtma hızında (40⁰C/dk) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 40 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.6-1.25 mm				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	71.82	28.18	20.61	24.39	26.82
2	72.59	27.41	19.52	24.67	28.40
3	71.05	28.95	20.08	23.57	27.40
4	72.15	27.85	20.06	24.39	27.70
5	71.38	28.62	19.85	23.57	27.96
6	72.15	27.85	20.78	24.67	26.70
Ort.	71.86	28.14	20.27	24.21	27.49

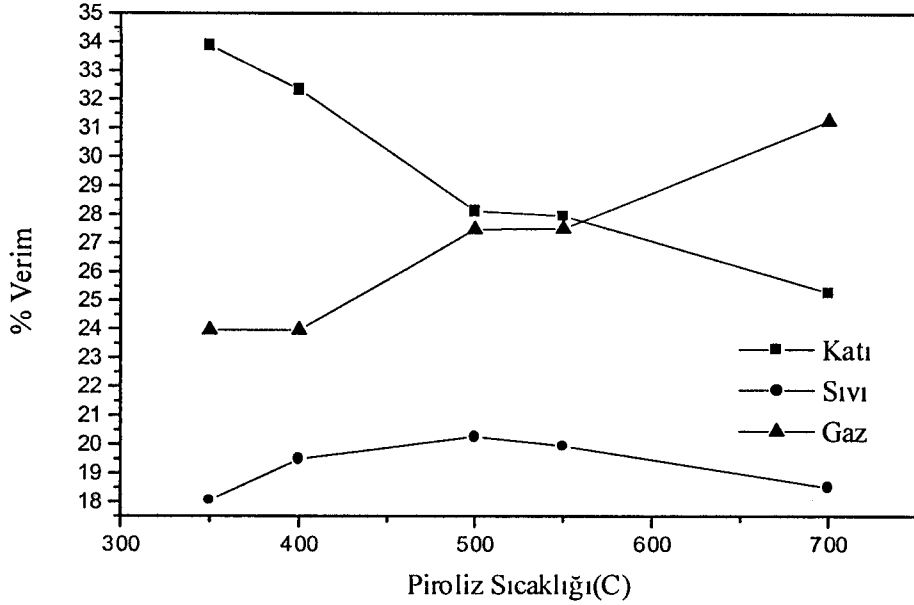
Çizelge 7.12. Yüksek ısıtma hızında (40⁰C/dk) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 550 ⁰ C Isıtma hızı : 40 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.6-1.25 mm				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	71,49	28,51	19.51	24.67	27.31
2	72,59	27,41	20.39	24.49	27.71
Ort.	72,04	27,96	19.95	24.58	27.51

Çizelge 7.13. Yüksek ısıtma hızında (40⁰C/dk) farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 700 ⁰ C Isıtma hızı : 40 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.6-1.25 mm				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	74.20	25.80	18.70	24.67	30.83
2	74.50	25.50	18.20	25.77	30.53
3	75.00	25.00	18.90	25.77	30.33
4	75.10	24.90	18.20	23.57	33.33
Ort.	74.70	25.30	18.50	24.94	31.26

Yüksek ısıtma hızında (40⁰C/dk) elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi ise Şekil 7.2'de verilmiştir. Şekil 7.2'de yüksek ısıtma hızında (40⁰C/dk) piroliz sıcaklığına karşı katı, sıvı ve gaz ürün verimleri grafiğe geçirilmiştir.



Şekil 7.2. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen piroliz ürün verimleri

Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$), farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, düşük ısıtma ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) hızında olduğu gibi, piroliz sıcaklığının artmasıyla birlikte piroliz dönüşümünde bir artış gözlenmiş ve 350°C 'de %66.12 olan piroliz dönüşümü, 500°C 'de %71.86 değerine çıkmış, 700°C 'de ise %74.70 değerine ulaşmıştır. Piroliz sıcaklığındaki artışla piroliz dönüşümünde gözlenen artışa karşılık, sıvı ürün veriminde 500°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda bir artış gözlenmemiş ve en yüksek sıvı ürün verimine 500°C piroliz sıcaklığında %20.27 ile ulaşılmıştır.

Genel olarak Şekil 7.1 ve 7.2'nin birlikte incelenmesiyle, 500°C piroliz sıcaklığında, $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında piroliz dönüşümü %68.02 iken $40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ yüksek ısıtma hızında %71.86'ya ulaşmış ve buna paralel olarak sıvı ürün veriminde bir artış gözlenmiş ve %17.27'den %20.27'ye yükselmiştir. Görüldüğü gibi, aynı parçacık boyutunda beş farklı piroliz sıcaklığında yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$), düşük ısıtma hızına göre ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) yüksek piroliz dönüşümü ile birlikte yüksek sıvı ürün verimi gözlenmiştir.

Sonuç olarak, sabit yatak reaktörde yavaş piroliz koşullarında statik ortamda yapılan çalışmalar sonucunda +0.6-1.25 mm parçacık boyutunda, yüksek ısıtma

hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) ve 500°C piroliz sıcaklığında en yüksek sıvı ürün verimi %20.27 elde edilmiştir.

7.3.1.2. Parçacık boyutunun piroliz ürün verimlerine etkisi

Sabit yatak reaktörde, parçacık boyutunun piroliz ürün verimlerine etkisini incelemek amacıyla, düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) ve yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dak}$), 500°C piroliz sıcaklığında, $D_p < 0.224$, $0.224 < D_p < 0.6$, $0.6 < D_p < 1.25$, $1.25 < D_p < 1.8$, $D_p > 1.8$ mm olmak üzere beş farklı parçacık boyutunda piroliz işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlarda elde edilen ürün dağılımları Çizelge 7.14 - 7.23'de verilmiştir.

Çizelge 7.14. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $D_p < 0.224$ mm				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	66.34	33.66	16.01	23.57	26.76
2	66.56	33.44	16.15	21.93	28.23
3	66.12	33.88	15.80	22.48	27.84
Ort.	66.34	33.66	15.99	22.66	27.61

Çizelge 7.15. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $0.224 < D_p < 0.6$ mm				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	66.89	33.11	16.12	23.57	27.20
2	66.50	33.50	15.90	22.48	28.12
3	67.31	32.69	16.28	22.48	28.55
Ort.	66.90	33.10	16.10	22.84	27.96

Çizelge 7.16. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroлиз Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $0.6 < D_p < 1.25\text{mm}$				
	Piroлиз Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	67.87	32.13	17.20	23.57	27.10
2	68.31	31.69	17.22	23.57	27.52
3	67.87	32.13	17.35	21.93	28.59
4	67.98	32.02	17.40	23.57	27.01
5	68.53	31.47	17.35	22.48	28.70
6	67.54	32.46	17.10	21.93	28.51
Ort.	68.02	31.98	17.27	22.84	27.90

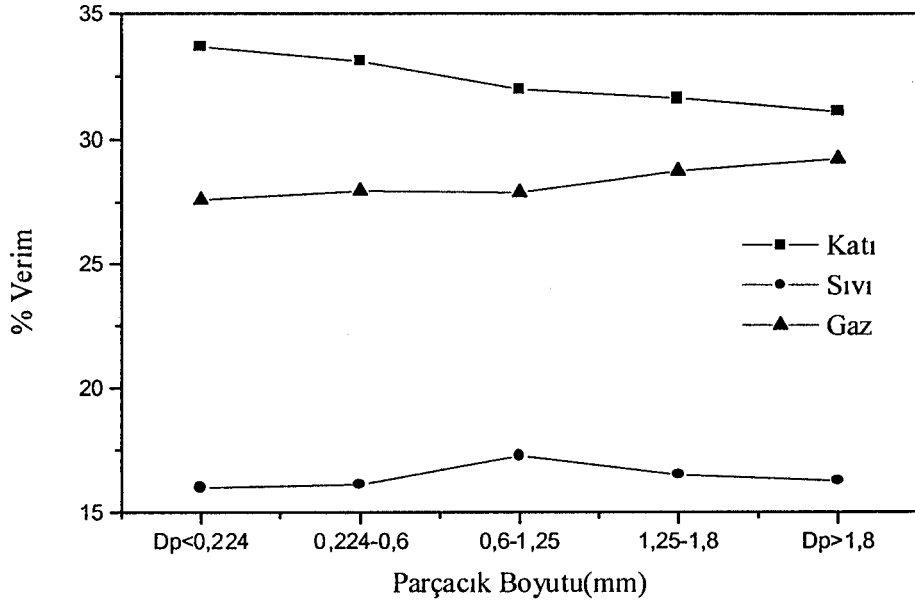
Çizelge 7.17. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroлиз Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $1.25 < D_p < 1.8\text{mm}$				
	Piroлиз Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	67,98	32,02	16.23	22.63	29.12
2	68,75	31,25	16.77	23.57	28.41
Ort.	68,36	31,64	16.50	23.10	28.76

Çizelge 7.18. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroлиз Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $D_p > 1.8\text{mm}$				
	Piroлиз Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	69.10	30.90	16.50	23.23	29.37
2	68.70	31.30	16.01	23.57	29.12
Ort.	68.90	31.10	16.26	23.40	29.24

Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$), 500°C piroliz sıcaklığında, farklı parçacık boyutlarında elde edilen verimlerin grafiksel olarak gösterimi Şekil 7.3’de verilmiştir.



Şekil 7.3. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı parçacık boyutlarında elde edilen piroliz ürün verimleri

Şekil 7.3’de görüldüğü gibi $D_p < 0.224$ mm parçacık boyutunda %66.34 olan piroliz dönüşüm verimi, $0.6 < D_p < 1.25$ mm’ de %68.02’ye, $D_p > 1.8$ mm’de %68.90 değerine ulaşmıştır. Sıvı ürün verimi ise $D_p < 0.224$ mm parçacık boyutunda %15.99 iken, $0.6 < D_p < 1.25$ mm parçacık boyutunda %17.27 ile en yüksek değerine ulaşmış, $D_p > 1.8$ mm parçacık boyutuna büyümeyle sıvı ürün veriminde azda olsa bir düşmeyle %16.26 değeri elde edilmiştir.

Çizelge 7.19. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $D_p < 0.224 \text{ mm}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	70,18	29,82	19.08	23.57	27.53
2	69,88	30,92	18.72	23.57	26.79
3	70,18	29,82	19.08	23.87	27.23
4	70,18	29,82	18.80	23.87	27.51
Ort.	70,10	30,09	18.92	23.72	27.27

Çizelge 7.20. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $0.224 < D_p < 0.6 \text{ mm}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	70.55	29.45	19.16	23.62	27.29
2	70.85	29.15	18.97	23.95	26.93
3	70.85	29.15	19.08	23.95	26.82
Ort.	70.75	29.25	19.07	23.84	27.01

Çizelge 7.21. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $0.6 < D_p < 1.25 \text{ mm}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	71,82	28,18	20,61	24.39	26.82
2	72,59	27,41	19,52	24.67	28.4
3	71,05	28,95	20,08	23.57	27.4
4	72,15	27,85	20,06	24.39	27.7
5	71,38	28,62	19,85	23.57	27.96
6	72,15	27,85	20,78	24.67	26.7
Ort.	71,86	28,14	20,27	24.21	27.49

Çizelge 7.22. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $1.25 < D_p < 1.8 \text{ mm}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.90	27.10	20.61	24.49	27.80
2	72.25	27.75	19.80	24.67	27.78
3	71.92	28.08	19.60	24.49	27.83
4	72.25	27.75	19.39	24.67	28.19
Ort.	72.33	27.67	19.85	24.58	27.90

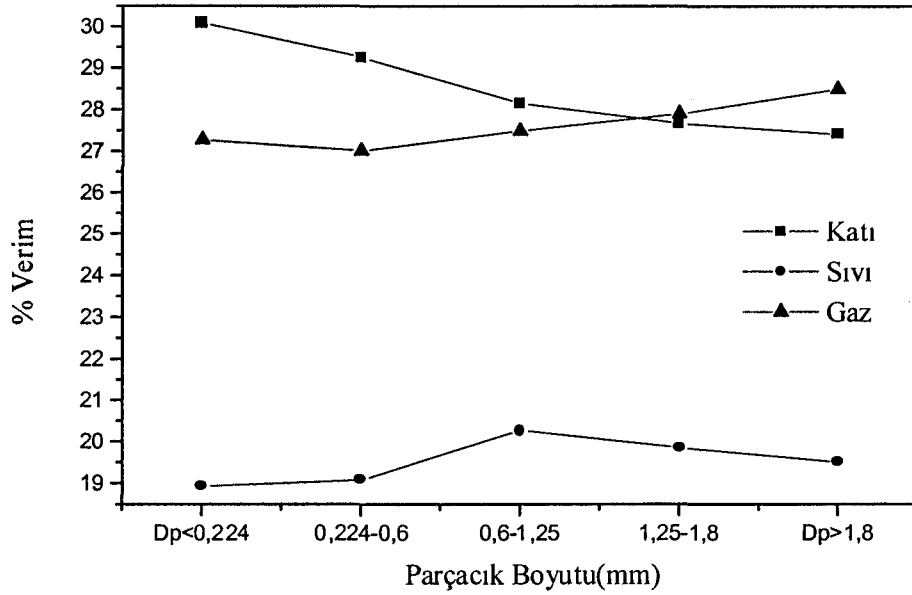
Çizelge 7.23. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $D_p > 1.8 \text{ mm}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.89	27.11	19.80	24.57	28.52
2	72.45	27.55	19.28	24.67	28.50
3	72.12	27.88	19.25	24.57	28.30
4	72.94	27.06	19.67	24.67	28.60
Ort.	72.60	27.40	19.50	24.62	28.48

Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) elde edilen verimlerin grafiksel olarak gösterimi Şekil 7.4'te verilmiştir.

Yüksek ısıtma hızında, farklı parçacık büyüklüklerinde elde edilen sonuçlara bakıldığında, düşük ısıtma hızında olduğu gibi parçacık büyüklüğünün artmasıyla birlikte piroliz dönüşümünde bir artış gözlenmiş ve $D_p < 0.224 \text{ mm}$ parçacık boyutunda %70.1 olan piroliz dönüşümü, $0.6 < D_p < 1.25 \text{ mm}$ parçacık boyutunda, %71.86 değerine artmış, $D_p > 1.8 \text{ mm}$ partikül büyüklüğünde ise %72.60 değerine ulaşmıştır. Düşük ısıtma hızında olduğu gibi 500°C piroliz sıcaklığında en yüksek sıvı ürün verimine $0.6 < D_p < 1.25 \text{ mm}$ parçacık boyutunda, %20.27 değeri ile ulaşılmıştır. $0.6 < D_p < 1.25 \text{ mm}$ parçacık boyutunda düşük ısıtma hızında piroliz dönüşümü %68.02 iken yüksek ısıtma hızında bu değer %71.86 değerine ulaşmış ve sıvı ürün verimi de %17.27'den %20.27 değerine yükselmiştir. Genel olarak

Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'ün birlikte incelenmesinde görüldüğü gibi, aynı piroliz sıcaklığında beş farklı parçacık boyutunda yüksek ve düşük ısıtma hızlarında en yüksek piroliz dönüşümü ve sıvı ürün verimlerine +0.6-1.25 mm parçacık boyut aralığında ulaşılmıştır.



Şekil 7.4. Yüksek ısıtma hızında (40⁰C/dk) farklı parçacık boyutlarında elde edilen piroliz ürün verimleri

7.3.1.3. Sürükleyici gaz akış hızının piroliz ürün verimlerine etkisi

Sürükleyici gaz akış hızının piroliz ürün verimlerine etkisini incelemek amacıyla sabit yatak reaktörde yavaş piroliz koşullarında düşük ısıtma hızı (7⁰C/dk) ve yüksek ısıtma hızında (40⁰C/dk), +0.6-1.25 mm parçacık boyutundaki örneğe 500⁰C piroliz sıcaklığında 50, 100, 200 ve 400 cm³/dk olmak üzere dört farklı azot akış hızında piroliz işlemi uygulanmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen ürün dağılımları Çizelge 7.24 - 7.31'de verilmiştir.

Çizelge 7.24. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.6-1.25\text{ mm}$ Azot akış hızı : $50\text{ cm}^3/\text{dk}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	67.92	32.08	17.22	24.67	26.03
2	67.95	32.05	17.10	24.39	26.46
3	68.21	31.79	17.30	24.07	26.84
4	68.40	31.60	17.54	24.67	26.19
Ort.	68.12	31.88	17.30	24.45	26.37

Çizelge 7.25. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.6-1.25\text{ mm}$ Azot akış hızı : $100\text{ cm}^3/\text{dk}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	68.23	31.77	17.32	23.94	26.97
2	68.20	31.80	17.00	24.50	26.70
3	68.58	31.42	17.30	24.50	26.78
4	67.91	32.09	17.76	23.80	26.35
5	68.78	31.22	17.80	24.26	26.72
Ort.	68.34	31.66	17.44	24.20	26.70

Çizelge 7.26. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları

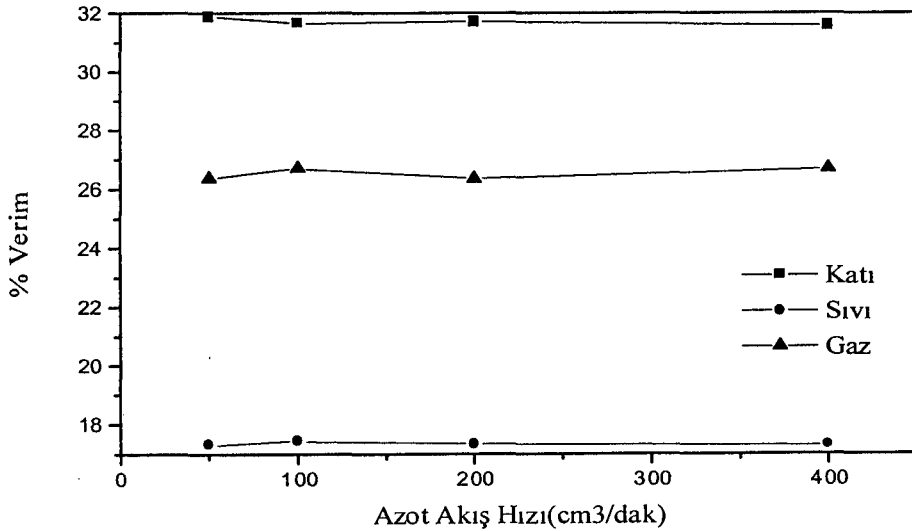
Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.6-1.25\text{ mm}$ Azot akış hızı : $200\text{ cm}^3/\text{dk}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	67.97	32.03	17.26	24.23	26.48
2	68.57	31.43	17.46	24.72	26.39
3	68.39	31.61	17.20	24.87	26.32
4	68.23	31.77	17.43	24.58	26.22
Ort.	68.29	31.71	17.34	24.60	26.35

Çizelge 7.27. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piröliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0,6-1,25$ mm Azot akış hızı : 400 cm^3/dk				
	Piröliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	68.69	31.31	17.31	24.23	27.15
2	68.44	31.56	17.28	24.58	26.58
3	68.13	31.87	17.30	24.54	26.29
Ort.	68.42	31.58	17.29	24.45	26.68

Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$), 500°C piroliz sıcaklığında, $+0.6-1.25$ mm parçacık boyutunda, farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen piroliz sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 7.5'te verilmiştir.

Şekil 7.5'de görüldüğü gibi piroliz dönüşüm verimi sürükleyici gaz akış hızlarıyla belirgin bir değişim göstermemiş ve %68-68.5 düzeyinde kalmıştır. Sürükleyici gaz akış hızıyla sıvı ürün veriminde en belirgin artış 100 cm^3/dk gaz akış hızının kullanılmasıyla %17.44 olarak elde edilmiştir. Statik koşullarda %17.27 olan sıvı ürün verimi sürükleyici gaz akış hızında ancak %17.44 düzeyinde gözlenmiştir.



Şekil 7.5. Düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen piroliz ürün verimleri

Çizelge 7.28. Yüksek ısıtma hızında (40⁰C/dk) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piröliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 40 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.6-1.25 mm Azot akış hızı : 50 cm ³ /dk				
	Piröliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	71.82	28.18	20.26	25.77	25.79
2	71.58	28.42	20.53	24.67	26.38
3	72.15	27.85	20.23	24.67	27.25
Ort.	71.85	28.15	20.34	25.04	26.47

Çizelge 7.29. Yüksek ısıtma hızında (40⁰C/dk) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piröliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 40 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.6-1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piröliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.12	27.88	23.79	24.91	23.42
2	71.69	28.31	23.52	24.94	23.23
3	72.25	27.75	23.03	25.27	23.95
Ort.	72.02	27.98	23.45	25.04	23.53

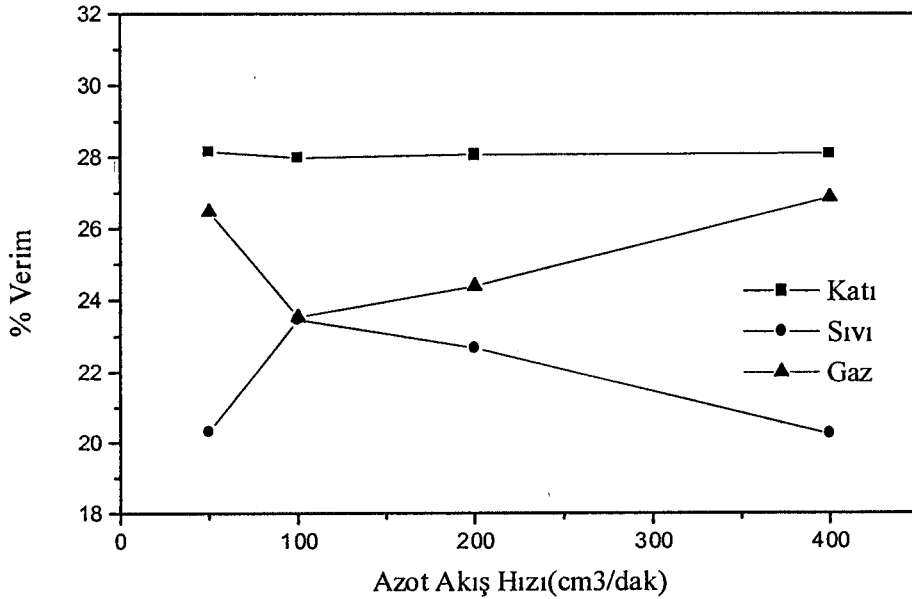
Çizelge 7.30. Yüksek ısıtma hızında (40⁰C/dk) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piröliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 40 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.6-1.25 mm Azot akış hızı : 200 cm ³ /dk				
	Piröliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	71.92	28.08	22.85	24.97	24.10
2	72.02	27.98	22.76	24.94	24.32
3	71.85	28.15	22.43	24.67	24.75
Ort.	71.93	28.07	22.68	24.86	24.39

Çizelge 7.31. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piröliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.6-1.25\text{ mm}$ Azot akış hızı : $400\text{ cm}^3/\text{dk}$				
	Piröliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	71.82	28.18	20.10	24.67	27.05
2	71.96	28.04	20.40	24.85	26.71
Ort.	71.89	28.11	20.25	24.76	26.88

Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$), 500°C piroliz sıcaklığında, $+0.6-1.25\text{ mm}$ parçacık boyutunda, farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen piroliz sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 7.6'da verilmiştir.



Şekil 7.6. Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen piroliz ürün verimleri

Yüksek ısıtma hızında ($40^{\circ}\text{C}/\text{dk}$), düşük ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$) olduğu gibi piroliz dönüşüm verimi sürükleyici gaz akış hızıyla belirgin bir değişim göstermemiş ve %71.8-72.0 düzeyinde kalmıştır. Gaz akışı kullanılmadığında elde edilen sıvı ürün verimi %20.27 iken sürükleyici gaz akış hızıyla sıvı ürün

veriminde en belirgin artış yine $100 \text{ cm}^3/\text{dk}$ gaz akış hızının kullanılmasıyla %23.45 olarak elde edilmiştir.

Genel olarak, Şekil 7.5 ve 7.6'nın birlikte incelenmesinde düşük ısıtma hızında statik koşullara oranla sürükleyici gaz akış hızı sıvı ürün verimi üzerine herhangi bir etki yaratmamış, yüksek ısıtma hızında ise sürükleyici gaz kullanımıyla sıvı ürün verimi ancak %20.27'den %23.45'e yükselmiştir.

7.3.1.4. En uygun piroliz sıcaklığı, sürükleyici gaz akış hızı ve ısıtma hızı koşullarında parçacık boyutunun etkisi

Sabit yatak reaktörde, en yüksek sıvı ürün verimine, 500°C piroliz sıcaklığı, $40^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızı ve $100 \text{ cm}^3/\text{dk}$ azot akış hızı koşullarında ulaşıldığı yapılan deneyler sonucunda gözlenmiştir. Bu en uygun sayılan koşullarda $D_p < 0.224$, $0.224 < D_p < 0.6$, $0.6 < D_p < 1.25$, $1.25 < D_p < 1.8$, $D_p > 1.8$ mm olmak üzere beş farklı partikül boyutunda piroliz işlemi uygulanarak parçacık boyutunun etkisi kontrol edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen ürün dağılımları Çizelge 7.32 - 7.36'da verilmiştir.

Çizelge 7.32. Sabit yatak reaktörde en uygun sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızı koşullarında farklı parçacık boyutlarında elde edilen sonuçlar

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $40^\circ\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $D_p < 0.224$ mm Azot akış hızı : $100 \text{ cm}^3/\text{dk}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	70.23	29.77	21.98	25.95	22.30
2	70.09	29.91	22.15	25.77	22.17
Ort.	70.16	29.84	22.06	25.86	22.24

Çizelge 7.33. Sabit yatak reaktörde en uygun sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızı koşullarında farklı parçacık boyutlarında elde edilen sonuçlar

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : 40°C/dk Parçacık boyutu : 0.224<D _p <0.6 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	70.83	29.17	22.15	25.27	23.41
2	70.95	29.05	22.41	25.37	23.17
Ort.	70.89	29.11	22.28	25.32	23.29

Çizelge 7.34. Sabit yatak reaktörde en uygun sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızı koşullarında farklı parçacık boyutlarında elde edilen sonuçlar

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : 40°C/dk Parçacık boyutu : 0.6<D _p <1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.12	27.88	23.79	24.91	23.42
2	71.69	28.31	23.52	24.94	23.23
3	72.25	27.75	23.03	25.27	23.95
Ort.	72.02	27.98	23.45	25.04	23.53

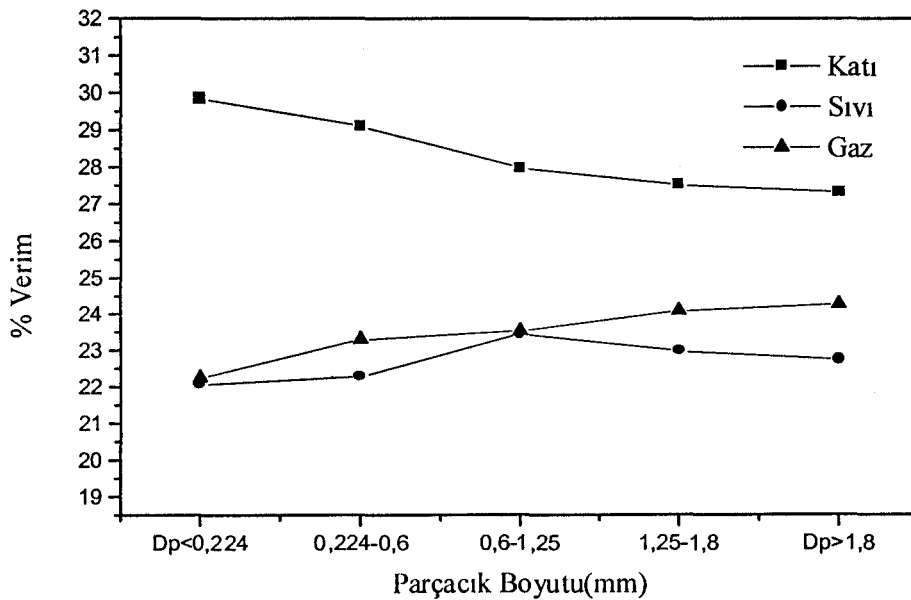
Çizelge 7.35. Sabit yatak reaktörde en uygun sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızı koşullarında farklı parçacık boyutlarında elde edilen sonuçlar

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : 40°C/dk Parçacık boyutu : 1.25<D _p <1.8 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72,81	27,19	23.15	25.27	24.39
2	72,15	27,85	22.81	25.55	23.79
Ort.	72,48	27,52	22.98	25.41	24.09

Çizelge 7.36. Sabit yatak reaktörde en uygun sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızı koşullarında farklı parçacık boyutlarında elde edilen sonuçlar

Deney No	Piröliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : 40°C/dk Parçacık boyutu : $D_p > 1.8$ mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piröliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.48	27.52	22.41	25.57	24.50
2	72.88	27.12	23.07	25.77	24.04
Ort.	72.68	27.32	22.74	25.67	24.27

Sabit yatak reaktörde en uygun sıcaklık, ısıtma hızı ve azot akış hızı koşullarında farklı partikül büyüklüklerinde elde edilen piröliz sonuçları Şekil 7.7'de verilmiştir.



Şekil 7.7. Sabit yatak reaktörde en uygun sıcaklık, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızı koşullarında farklı parçacık boyutlarında elde edilen piröliz ürün verimleri

Şekil 7.7'de sabit yatak reaktörde en yüksek sıvı ürün verimine ulaşılan koşullar olan 40⁰C/dk ısıtma hızı, 500⁰C piroliz sıcaklığı ve 100 cm³/dk azot akış hızı piroliz şartlarında parçacık boyutuna karşı katı, sıvı ve gaz ürün verimleri grafiğe geçirilmiştir. En yüksek sıvı ürün verimine % 23.45 değeri ile +0.6-1.25 mm parçacık boyutunda ulaşılmıştır.

7.3.2. Sabit yatak borsal reaktörde hızlı piroliz koşullarında yapılan çalışmalar

Sabit yatak borsal reaktörde hızlı piroliz koşullarında yapılan çalışmalarda piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, parçacık boyutu ve sürükleyici gaz akış hızının etkisi araştırılmıştır.

7.3.2.1. Piroliz sıcaklığının ve ısıtma hızının ürün verimlerine etkisi

Piroliz sıcaklığının piroliz ürün verimlerine etkisini incelemek amacıyla hızlı piroliz koşullarında, 100, 300 ve 800⁰C/dk'lık ısıtma hızlarında, 100cm³/dk azot akış hızında, +0.6-1.25 mm partikül büyüklüğündeki örneğe 350, 400, 500, 550 ve 700⁰C olmak üzere beş farklı piroliz sıcaklığında piroliz işlemi uygulanmıştır. Deneysel sonucunda elde edilen ürün dağılımları Çizelge 7.37 - 7.51'de, grafiksel gösterim ise Şekil 7.8-7.10'da verilmiştir.

Çizelge 7.37. Sabit yatak borsal reaktörde 100⁰C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 350 ⁰ C Isıtma hızı : 100 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.6-1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	51.58	48.42	15.72	20.05	15.81
2	50.90	49.10	13.80	20.05	17.05
Ort.	51.24	48.76	14.76	20.05	16.43

Çizelge 7.38. Sabit yatak borusal reaktörde 100⁰C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 400 ⁰ C Isıtma hızı : 100 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.6-1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	62.13	37.87	18.21	21.02	22.90
2	62.83	37.17	18.35	21.02	23.46
Ort.	62.48	37.52	18.28	21.02	23.18

Çizelge 7.39. Sabit yatak borusal reaktörde 100⁰C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

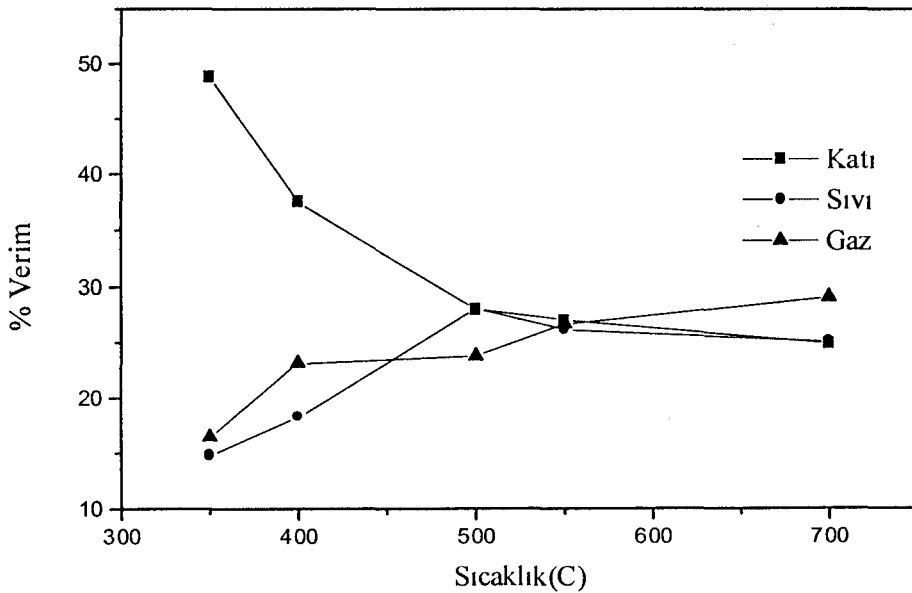
Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 100 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.60-1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	71.89	28.11	27.89	20.13	23.87
2	72.11	27.89	28.19	20.25	23.67
Ort.	72.00	28.00	28.04	20.19	23.77

Çizelge 7.40. Sabit yatak borusal reaktörde 100⁰C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 550 ⁰ C Isıtma hızı : 100 ⁰ C/dak Parçacık boyutu : +0.60-1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.92	27.08	26.08	20.05	26.79
2	73.06	26.94	26.22	20.33	26.51
Ort.	72.99	27.01	26.15	20.19	26.65

Çizelge 7.41. Sabit yatak borusal reaktörde $100^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 700°C Isıtma hızı : $100^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.6-1.25\text{ mm}$ Azot akış hızı : $100\text{ cm}^3/\text{dk}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	73.28	26.72	24.85	21.02	27.41
2	76.94	23.06	25.22	21.02	30.70
Ort.	75.11	24.89	25.04	21.02	29.06



Şekil 7.8. Sabit yatak borusal reaktörde $100^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen piroliz ürün verimleri

Şekil 7.8'de görüldüğü gibi 350°C piroliz sıcaklığında %51.24 olan piroliz dönüşümü bir diğer değişle % 48.76 olan katı ürün verimi, 500°C piroliz sıcaklığında % 72.0 değerine ve 700°C piroliz sıcaklığında ise % 75.11 değerine ulaşmıştır. Sıvı ürün verimi ise % 14.76 değerinden 500°C piroliz sıcaklığında % 28.04 ile en yüksek değerini almış ancak piroliz sıcaklığının 700°C 'ye yükselmesi ile % 25.04 değerine düşmüştür.

Çizelge 7.42. Sabit yatak borusal reaktörde 300⁰C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 350 ⁰ C Isıtma hızı : 300 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.6-1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	52.30	47.70	15.35	21.02	15.93
2	52.18	47.82	15.10	21.68	15.40
Ort.	52.24	47.76	15.22	21.35	15.67

Çizelge 7.43. Sabit yatak borusal reaktörde 300⁰C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 400 ⁰ C Isıtma hızı : 300 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.6-1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	63.21	36.79	19.95	22.84	20.42
2	62.83	37.17	19.63	22.60	20.60
Ort.	63.02	36.98	19.79	22.72	20.51

Çizelge 7.44. Sabit yatak borusal reaktörde 300⁰C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

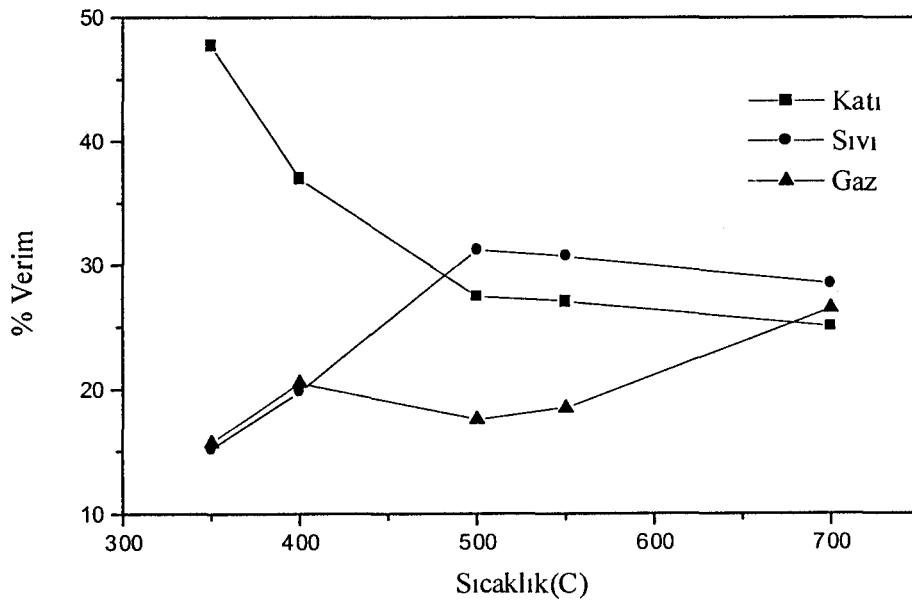
Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 300 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.6-1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.28	27.72	31.34	22.84	18.10
2	72.80	27.20	31.10	24.67	17.03
Ort.	72.54	27.46	31.22	23.76	17.56

Çizelge 7.45. Sabit yatak borusal reaktörde 300⁰C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 550 ⁰ C Isıtma hızı : 300 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.60-1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	73.04	26.96	30.96	22.84	19.24
2	72.80	27.20	30.44	24.67	17.69
Ort.	72.92	27.08	30.70	23.76	18.46

Çizelge 7.46. Sabit yatak borusal reaktörde 300⁰C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 700 ⁰ C Isıtma hızı : 300 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.60-1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	75.10	24.90	29.42	22.84	22.84
2	75.10	24.90	27.60	24.67	22.83
Ort.	75.10	24.90	28.51	23.76	22.83



Şekil 7.9. Sabit yatak borusal reaktörde 300⁰C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen piroliz ürün verimleri

Şekil 7.9'da görüldüğü gibi, 350⁰C piroliz sıcaklığında % 52.24 olan piroliz dönüşümü 500⁰C piroliz sıcaklığında % 72.54 olmuş ve 700⁰C piroliz sıcaklığında ise % 75.10 olarak gerçekleşmiştir. Buna karşın, sıvı ürün verimi %15.22 değerinden % 31.22 değerine ulaşmış ve 700⁰C piroliz sıcaklığında ise % 28.51'e düşmüştür.

Çizelge 7.47. Sabit yatak borusal reaktörde 800⁰C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 350 ⁰ C Isıtma hızı : 800 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.60-1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	52.10	47.90	15.35	21.02	15.73
2	51.58	48.42	13.90	21.08	16.60
Ort.	51.84	48.16	14.62	21.05	16.17

Çizelge 7.48. Sabit yatak borusal reaktörde 800⁰C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 400 ⁰ C Isıtma hızı : 800 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.60-1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	65,97	34,03	19.63	21.08	25.26
2	61,95	38,05	18.39	20.62	22.94
Ort.	63,96	36,04	19.01	20.85	24.10

Çizelge 7.49. Sabit yatak borusal reaktörde 800⁰C/dk ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

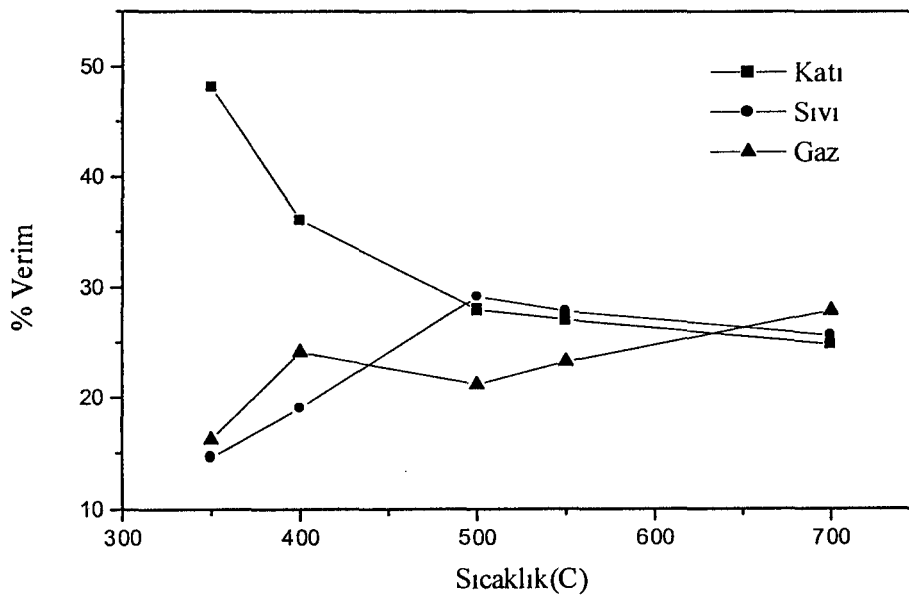
Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 800 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.6-1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.28	27.72	29.40	21.74	21.14
2	71.76	28.24	28.90	21.68	21.18
Ort.	72.02	27.98	29.15	21.71	21.16

Çizelge 7.50. Sabit yatak borusal reaktörde $800^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 550°C Isıtma hızı : $800^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.60-1.25$ mm Azot akış hızı : 100 cm^3/dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72,19	27,81	27,49	21,74	22,96
2	73,65	26,35	28,19	21,96	23,50
Ort.	72,92	27,08	27,84	21,85	23,23

Çizelge 7.51. Sabit yatak borusal reaktörde $800^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 700°C Isıtma hızı : $800^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.60-1.25$ mm Azot akış hızı : 100 cm^3/dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	75,94	24,06	25,96	21,74	28,24
2	74,48	25,52	25,28	21,68	27,52
Ort.	75,21	24,79	25,62	21,71	27,88



Şekil 7.10. Sabit yatak borusal reaktörde $800^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen piroliz ürün verimleri

Şekil 7.10'da görüldüğü gibi yüksek bir ısıtma hızı olan 800°C/dk'da sıvı ürün verimi 500°C piroliz sıcaklığında ancak %29.15 olarak görülmüştür.

7.3.2.2. Parçacık boyutunun piroliz ürün verimlerine etkisi

Parçacık boyutunun piroliz ürün verimlerine etkisini incelemek amacıyla yine 100, 300 ve 800°C/dk'lık ısıtma hızlarında, 100cm³/dk azot akış hızında, 500°C piroliz sıcaklığında, $D_p < 0.224$, $0.224 < D_p < 0.6$, $0.6 < D_p < 1.25$, $1.25 < D_p < 1.8$ ve $D_p > 1.8$ mm olmak üzere beş farklı parçacık büyüklüğünde örneğe piroliz işlemi uygulanmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen ürün dağılımları Çizelge 7.52 - 7.66'da verilmiştir.

Çizelge 7.52. Sabit yatak borusal reaktörde 100°C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : 100°C/dk Parçacık boyutu : $D_p < 0.224$ mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	69.90	30.10	24.90	21.02	23.98
2	70.40	29.60	25.60	21.02	23.78
Ort.	70.15	29.85	25.25	21.02	23.88

Çizelge 7.53. Sabit yatak borusal reaktörde 100°C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : 100°C/dk Parçacık boyutu : $0.224 < D_p < 0.60$ mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	70.54	29.46	26.81	20.47	23.26
2	70.34	29.66	26.67	20.25	23.42
Ort.	70.44	29.56	26.74	20.36	23.34

Çizelge 7.54. Sabit yatak borusal reaktörde 100⁰C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 100 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : 0.60<D _p <1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	71.89	28.11	27.89	20.13	23.87
2	72.11	27.89	28.19	20.25	23.67
Ort.	72.00	28.00	28.04	20.19	23.77

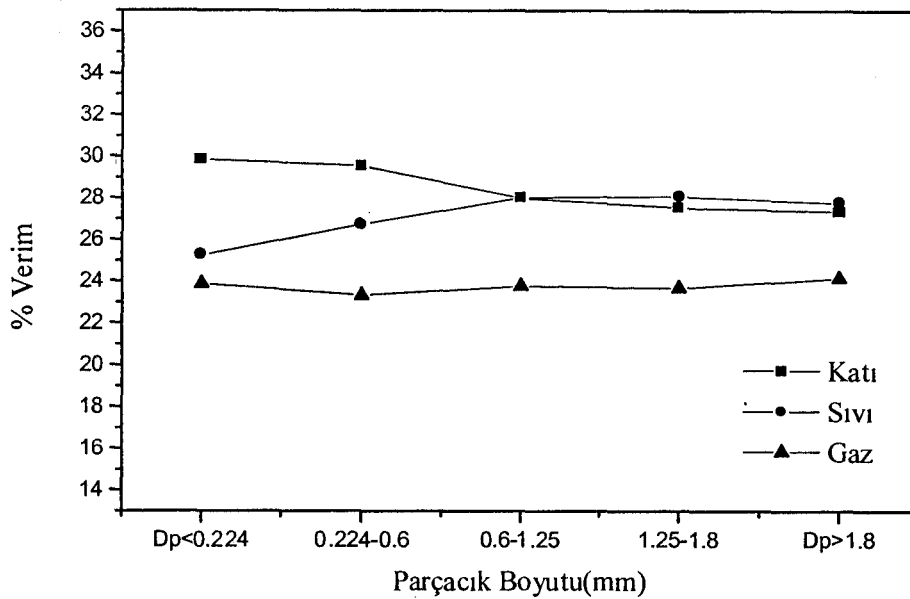
Çizelge 7.55. Sabit yatak borusal reaktörde 100⁰C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 100 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : 1.25<D _p <1.8 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.28	27.72	27.97	20.62	23.69
2	72.64	27.36	28.19	20.80	23.65
Ort.	72.46	27.54	28.08	20.71	23.67

Çizelge 7.56. Sabit yatak borusal reaktörde 100⁰C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 100 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : D _p >1.8 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.55	27.45	27.67	20.40	24.48
2	72.73	27.27	27.89	21.02	23.82
Ort.	72.64	27.36	27.78	20.71	24.15

Sabit yatak borusal reaktörde 100⁰C/dk ısıtma hızında farklı partikül büyüklüklerinde elde edilen piroliz sonuçları Şekil 7.11'de verilmiştir.



Şekil 7.11. Sabit yatak borusal reaktörde 100⁰C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında elde edilen piroliz ürün verimleri

Şekil 7.11'de görüldüğü gibi, ısıtma hızının 100 ⁰C/dk olarak alındığı deneylerde parçacık boyutunun değişmesiyle piroliz dönüşümü % 70-72 düzeyinde gerçekleşmiştir. Sıvı ürün verimi ise küçük parçacık boyutu olan D_p< 0.224 mm'de % 25.25 olurken parçacık boyutunun +0.6-1.8 mm'ye yükselmesiyle yaklaşık % 28 değerine artmıştır.

Çizelge 7.57. Sabit yatak borusal reaktörde 300⁰C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 300 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : D _p <0.224 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	71.76	28.24	24.90	23.20	23.66
2	70.54	29.46	25.60	22.84	22.10
Ort.	71.15	28.85	25.25	23.02	22.88

Çizelge 7.58. Sabit yatak borusal reaktörde 300⁰C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piröliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 300 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : 0.224<D _p <0.6 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piröliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.01	27.99	28.10	24.67	19.24
2	72.11	27.89	28.90	22.84	20.37
Ort.	72.06	27.94	28.50	23.76	19.80

Çizelge 7.59. Sabit yatak borusal reaktörde 300⁰C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piröliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 300 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : 0.6<D _p <1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piröliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.28	27.72	31.34	22.84	18.10
2	72.80	27.20	31.10	24.67	17.03
Ort.	72.54	27.46	31.22	23.76	17.56

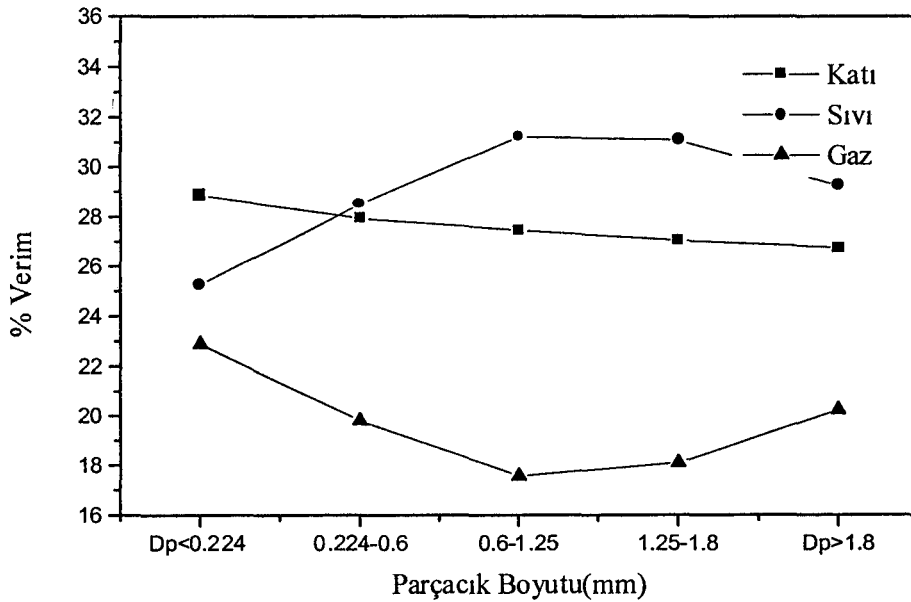
Çizelge 7.60. Sabit yatak borusal reaktörde 300⁰C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piröliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 300 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : 1.25<D _p <1.8 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piröliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.92	27.08	30.96	22.84	19.12
2	72.98	27.02	31.24	24.67	17.07
Ort.	72.95	27.05	31.10	23.76	18.09

Çizelge 7.61. Sabit yatak borusal reaktörde 300⁰C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piröliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 300 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : D _p > 1.8 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piröliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	73.04	26.96	28.88	22,84	21.32
2	73.44	26.56	29.60	24,67	19.17
Ort.	73.24	26.76	29.24	23,76	20.24

Sabit yatak borusal reaktörde 300⁰C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında elde edilen piröliz sonuçları Şekil 7.12’de verilmiştir.



Şekil 7.12. Sabit yatak borusal reaktörde 300⁰C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında elde edilen piröliz ürün verimleri

Şekil 7.12’den görüldüğü gibi 300⁰C/dk ısıtma hızında tüm parçacık boyutları için piröliz dönüşümü % 71-73 düzeyinde gerçekleşmiştir. Sıvı ürün verimi ise D_p < 0.224 mm’de % 25.25 düzeyinde iken parçacık boyutunun +0.6-

1.8 mm aralığına yükselmesiyle % 31 düzeyine yükselmiştir. Ancak parçacık boyutunun dahada artmasıyla % 29.24 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 7.62. Sabit yatak borusal reaktörde 800⁰C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 800 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : D _p <0.224 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	70.54	29.46	26.32	21.02	23.20
2	71.10	28.90	25.92	20.66	24.52
Ort.	70.82	29.18	26.12	20.84	23.86

Çizelge 7.63. Sabit yatak borusal reaktörde 800⁰C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 800 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : 0.224<D _p <0.6 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	70.72	29.28	26.11	22.54	22.07
2	71.76	28.24	26.32	20.80	24.64
Ort.	71.24	28.76	26.22	21.67	23.35

Çizelge 7.64. Sabit yatak borusal reaktörde 800⁰C/dk ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

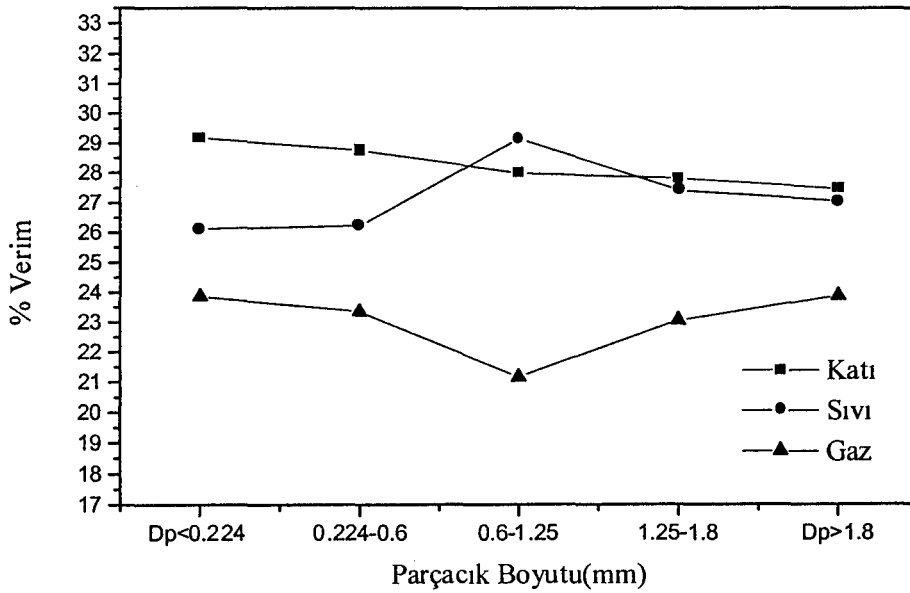
Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 800 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : 0.6<D _p <1.25 mm Azot akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.28	27.72	29.40	21.74	21.14
2	71.76	28.24	28.90	21.68	21.18
Ort.	72.02	27.98	29.15	21.71	21.16

Çizelge 7.65. Sabit yatak borusal reaktörde $800^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piröliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $800^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $1.25 < D_p < 1.8$ mm Azot akış hızı : $100 \text{ cm}^3/\text{dk}$				
	Piröliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	71,46	28,54	27,33	21,74	22,39
2	72,92	27,08	27,49	21,68	23,75
Ort.	72,19	27,81	27,41	21,71	23,07

Çizelge 7.66. Sabit yatak borusal reaktörde $800^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında yapılan deney sonuçları

Deney No	Piröliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $800^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $D_p > 1.8$ mm Azot akış hızı : $100 \text{ cm}^3/\text{dk}$				
	Piröliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72,46	27,54	27,49	21,35	23,62
2	72,64	27,36	26,61	21,89	24,14
Ort.	72,55	27,45	27,05	21,62	23,88



Şekil 7.13. Sabit yatak borusal reaktörde $800^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında elde edilen piröliz ürün verimleri

Sabit yatak borusal reaktörde $800^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında farklı parçacık boyutlarında elde edilen piroliz sonuçları Şekil 7.13'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yüksek bir ısıtma hızı olan $800^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ 'da sıvı ürün verimi $+0.6-1.8$ mm parçacık boyut aralığında ancak $\%27-29$ düzeyinde görülmüştür.

7.3.2.3. Sürükleyici gaz akış hızının piroliz ürün verimlerine etkisi

Sabit yatak borusal reaktörde hızlı piroliz koşullarında, $300^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızı, 500°C piroliz sıcaklığı ve $+0.6-1.80$ mm partikül büyüklüğü koşullarında sürükleyici gaz akış hızının ürün verimlerine etkisini incelemek amacıyla 50, 100, 200 ve $400 \text{ cm}^3/\text{dk}$ 'lık azot akış hızlarında piroliz işlemi uygulanmıştır. Azot akış hızına karşı katı, sıvı ve gaz ürün verimleri grafiğe geçirilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen ürün dağılımları Çizelge 7.67 - 7.70'de verilmiştir.

Çizelge 7.67. Sabit yatak borusal reaktörde farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen sonuçlar

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $300^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.6-1.80$ mm Azot akış hızı : $50 \text{ cm}^3/\text{dk}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.88	27.72	27.32	22.84	22.12
2	72.44	27.56	27.62	23.54	21.28
Ort.	72.36	27.64	27.47	23.19	21.70

Çizelge 7.68. Sabit yatak borusal reaktörde farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen sonuçlar

Deney No	Piroliz Sıcaklığı : 500°C Isıtma hızı : $300^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ Parçacık boyutu : $+0.6-1.80$ mm Azot akış hızı : $100 \text{ cm}^3/\text{dk}$				
	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.28	27.72	31.34	22.84	18.10
2	72.80	27.20	31.10	24.67	17.03
Ort.	72.54	27.46	31.22	23.76	17.56

Çizelge 7.69. Sabit yatak borusal reaktörde farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen sonuçlar

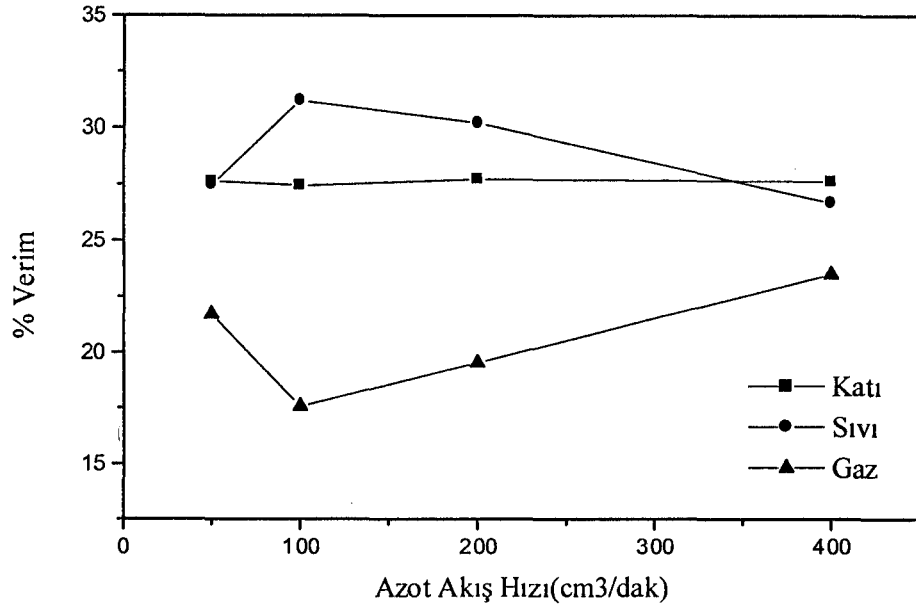
Deney No	Piroлиз Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 300 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.6-1.80 mm Azot akış hızı : 200 cm ³ /dk				
	Piroлиз Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.55	27.45	30.15	22.84	19.56
2	72.01	27.99	30.29	22.24	19.48
Ort.	72.28	27.72	30.22	22.54	19.52

Çizelge 7.70. Sabit yatak borusal reaktörde farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen sonuçlar

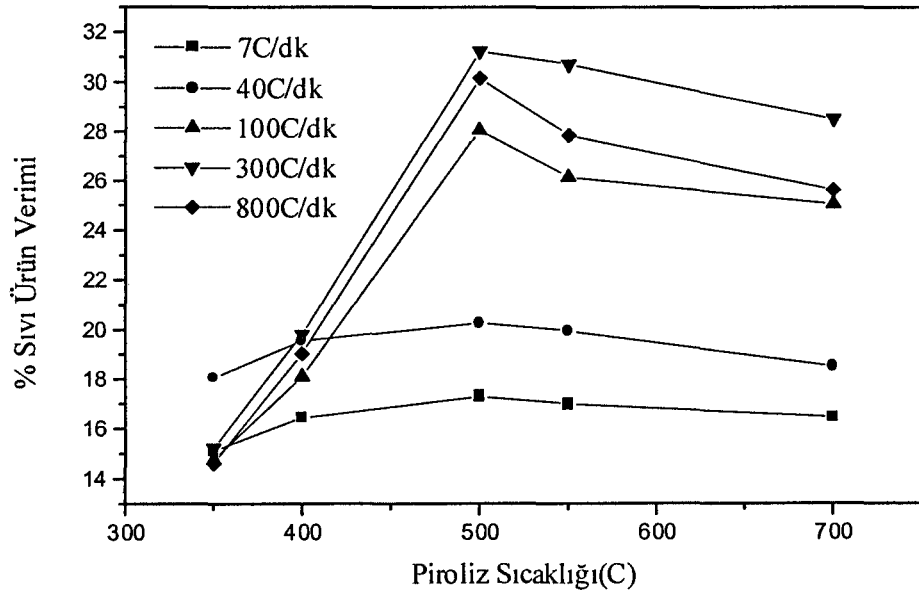
Deney No	Piroлиз Sıcaklığı : 500 ⁰ C Isıtma hızı : 300 ⁰ C/dk Parçacık boyutu : +0.6-1.80 mm Azot akış hızı : 400 cm ³ /dk				
	Piroлиз Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72.28	27.72	26.40	22.54	23.34
2	72.44	27.56	26.96	21.84	23.64
Ort.	72.36	27.64	26.68	22.19	23.49

Sabit yatak borusal reaktörde, 300⁰C/dk ısıtma hızında +0.6-1.80 mm partikül büyüklüğü ve 500⁰C piroliz koşullarında, farklı azot akış hızlarında elde edilen piroliz sonuçları Şekil 7.14'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, en yüksek sıvı ürün verimine sabit yatak borusal reaktörde iyi bir sürükleyici gaz etkisi gösteren 100 cm³/dk azot akış hızında % 31.22 ile ulaşılmıştır. Azot akış hızının daha da artması ise sistemde soğuma sorunları ile karşılaşılmasına neden olmuştur.

Yavaş piroliz ve hızlı piroliz koşullarında gerçekleştirilen tüm bu deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sıvı ürün verimleri karşılaştırmalı olarak Şekil 7.15'de gösterilmiştir.



Şekil 7.14. Sabit yatak borsal reaktörde farklı sürükleyici gaz akış hızlarında elde edilen piroliz ürün verimleri



Şekil 7.15. Farklı ısıtma hızlarında farklı piroliz sıcaklıklarında elde edilen sıvı ürün verimleri

Şekil 7.15’de çalışılan her bir piroliz sıcaklığında yavaş piroliz ve hızlı piroliz koşullarında piroliz ısıtma hızının 7’den 800⁰C/dk’a değişimiyle, sıvı ürün veriminin değişimi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi hızlı piroliz koşullarında, her bir piroliz sıcaklığı için piroliz dönüşümünün yaklaşık aynı düzeyde bulunmasına karşın sıvı ürün veriminde özellikle 500-550 ⁰C piroliz sıcaklığında belirgin bir artış görülmüş ve yavaş piroliz koşullarında (40⁰C/dk), % 19-20 düzeyinde olan verim hızlı piroliz koşullarında (300⁰C/dk) yaklaşık %50’lik bir artışla %30-31 düzeyine ulaşmıştır. Böylece ceviz kabuklarının hızlı piroliz koşullarında, yavaş piroliz koşullarına göre yaklaşık %48’lik bir artış sağlanabildiği gözlenmiştir.

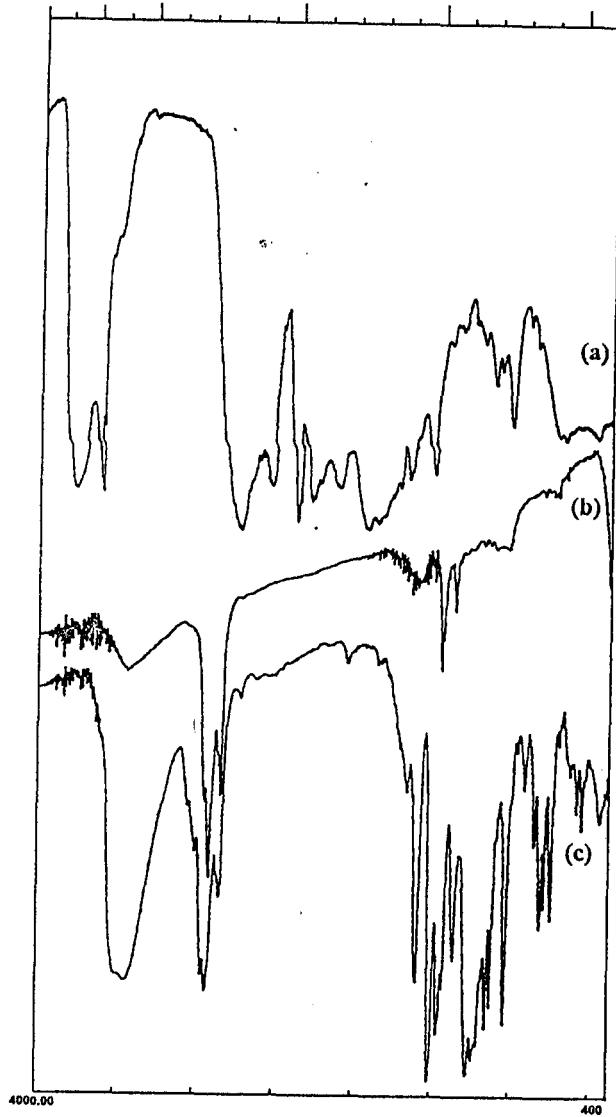
7.4. Sıvı Ürünün İncelenmesi

Çalışmada yavaş ve hızlı piroliz koşullarından elde edilen sıvı ürün spektroskopik ve kromatografik metotlarla incelenmiştir. Bu bölümde sıvı ürün üzerinde uygulanan bu metotlar ve sonuçları verilmiştir.

7.4.1. Sıvı ürün IR spektrumu

Ceviz kabuklarının yavaş ve hızlı piroliz koşullarında elde edilen sıvı ürünlerin IR spektrumları alınmış ve aralarında tam bir uyum görülmüştür. Piroliz sıvı ürününün, pentan eluatının ve toluen eluatının IR spektrumları Şekil 7.16’da verilmiştir.

Spektrumda 3200-3400 cm⁻¹’de görülen (O-H) hidroksil grubu polar yapıda olan fenol, alkol ve asidik yapıyı göstermektedir. 2800-3000 cm⁻¹ arasında ve 1350-1475 cm⁻¹ arasında gözlenen bandın alkan varlığını gösteren C-H bağlarına ait olduğu anlaşılmaktadır. C=O bağları ise 1650-1750 cm⁻¹ arasında görülmekte ve keton, aldehit ve asit varlığını göstermektedir. 1575-1675 cm⁻¹’deki absorban pikleri ise alken ve aromatikleri belirleyen C=C bağları olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 7.16. Sıvı ürün (a), pentan eluatu (b), toluen eluatu (c) IR spektrumları

7.4.2. Sıvı ürün elementel analiz sonuçları

Yavaş ve hızlı piroliz koşullarında elde edilen sıvı ürünlerin elementel analiz sonuçları Çizelge 7.71’de verilmiştir.

Çizelge 7.71. Yavaş ve hızlı piroliz sıvı ürünlerinin elementel analiz sonuçları

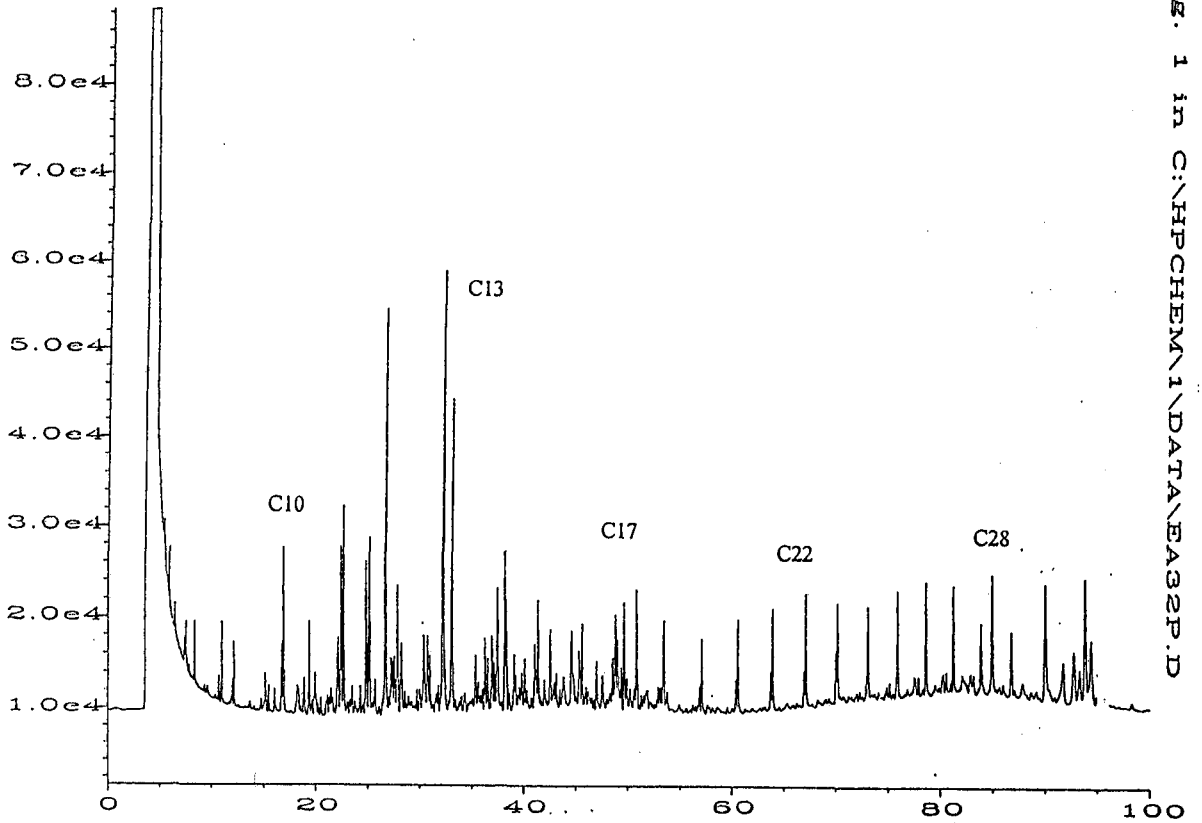
Bileşen	Yavaş piroliz sıvı ürün	Hızlı piroliz sıvı ürün
C	54.3	55.5
H	6.1	6.5
N	0.5	0.46
O	39.1	37.54
H/C	1.34	1.40

Çizelge 7.72. Sıvı ürün sütun kromatografisi sonuçları

Sıcaklık (°C)	Isıtma hızı (°C/dk)	Asfaltener, %	Pentanda çözünenler, %	Pentan eluatı, %	Toluende çözünenler, %	Metanolde çözünenler, %
500	7	60	40	55	10	35
500	40	65	35	55	10	35
500	300	62	38	57	6	37

7.4.5. Sıvı ürün pentan fraksiyonu gaz kromatogramı

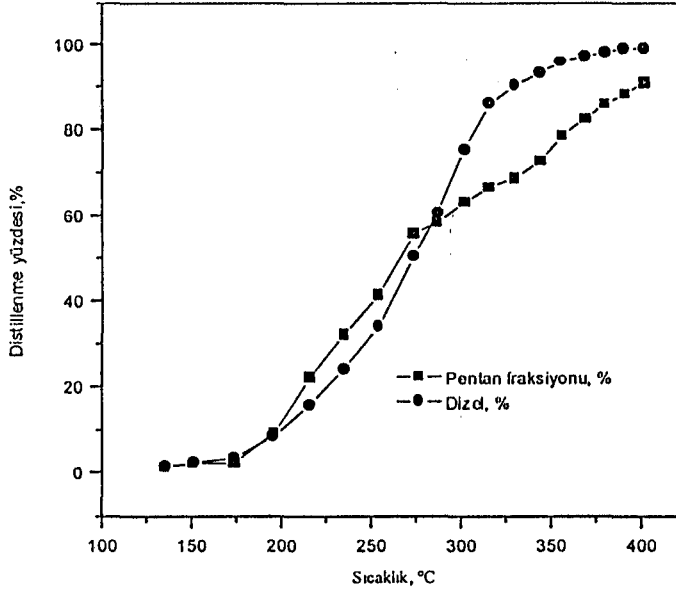
Sıvı ürünlerin pentan fraksiyonlarının gaz kromatogramları Şekil 7.18'de verilmiştir. Gaz kromatogramlarından pentan eluatının karbon sayısının C₇ - C₃₂ aralığında olduğu görülmüştür.



Şekil 7.18. Sıvı ürün pentan eluatı gaz kromatogramı

7.4.6. Sıvı ürün pentan eluatının benzetimli distilasyonu

Piroliz sıvı ürününün pentan eluatı günümüzde kullanılan sıvı yakıtlardan dizel ile benzetimli olarak karşılaştırılmıştır. Şekil 7.19'da görüldüğü gibi aralarında oldukça iyi bir uyum görülmüştür.



Şekil 7.19. Benzetimli distilasyon eğrileri

7.4.7. Piroliz katı ürününün elementel analizi

Ceviz kabuklarının yavaş ve hızlı pirolizleri sonucunda elde edilen katı ürün (char) elementel analizleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 7.73 Katı ürün elementel analiz sonuçları

Bileşen	Yavaş piroliz katı ürün	Hızlı piroliz katı ürün
C	81.72	77.33
H	2.92	3.47
N	1.67	1.54
O	13.69	17.66
H/C	0.43	0.54

8. SONUÇ, TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Enerji, insanların gereksinimlerini karşılayabilmeleri ve gelişmelerini sağlıklı olarak sürdürülebilmeleri için gerekli en temel öğelerden biridir.

Yüzyılımız kalkınma, büyüme ve endüstrileşme çabaları sonucunda giderek artan enerji tüketimi ile bir enerji çağı olmuştur. Gelişen ve nüfusu hızla artan dünyada, insanın ve geliştirdiği endüstrinin artan gereksinimlerine bağlı olarak, enerji sorunu, sürekli olarak gündemde kalmaktadır. Buna karşılık bir yandan enerji kaynaklarının kısıtlı oluşu diğer yandan da çevre sorunlarının getirdiği kısıtlamalar tam anlamı ile doğal, yenilenebilir ve çevre dostu enerjileri gündeme getirmektedir.

Ülkemizin birincil enerji kaynakları olan petrol, doğal gaz ve taşkömürü açısından önemli bir rezerve sahip olmadığı bilinmektedir. Türkiye tükettiği enerjiyi, bütünüyle kendi öz kaynaklarından sağlayabilen bir ülke konumunda değildir. Türkiye'nin enerji sektörü, ülke koşulları, gereksinimleri, ekonomik ve uluslar arası ilişkileri nedeniyle; dışa bağımlılık içindedir. Bu nedenle, ülkemizde enerji elde edilebilecek her türlü seçenek dikkatle araştırılmalı ve tartışmaya açılmalıdır.

Ülkemiz bir yandan nüfus artışı ile artan enerji gereksinimi, diğer yandan fosil yakıtlarla üretilen enerjinin çevre kirliliğine neden olması açmazına doğru gitmektedir. Asit yağmurları, sera etkisi, hava kirliliği gibi fosil yakıtlar kullanıldıkça var olmaya devam edecek olan problemlerin çözümü, fosil kaynakların iyileştirilerek optimum kullanımının yanında daha önemlisi, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme ile mümkündür. Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, su enerjisi, hidrojen enerjisi ve biyokütle enerjisi tüm dünyada üzerinde yoğun bir şekilde çalışmaların yürütüldüğü yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Bitkisel ve hayvansal biyokütle kaynakları açısından oldukça zengin bir potansiyele sahip olan ülkemizde, bu kaynaklardan en uygun koşullarda enerji üretebilmek için proseslerin geliştirilmesi ve uygulamaya konulması gereklidir. Biyokütlenin cinsine ve yapısına bağlı olmaksızın, termal dönüşüm prosesleri ile, özellikle yüksek verimde sıvı ürün elde edilmesine olanak sağlayan piroliz

yöntemi ile elde edilen sıvı ürün, iyileştirme işlemleri sonunda kalorifik değeri yüksek, kolaylıkla depolanabilir, taşınabilir ve ölçülebilir özellikleri ile, petrol türevi sıvı yakıtlar ve petrokimya endüstrisi girdisi için bir seçenek oluşturmaktadır.

Biyokütle pirolizi üzerine günümüze kadar yapılan çalışmalar genelde laboratuvar düzeyinde kalmış ve biyokütle piroliz koşulları, pirolizde kullanılacak reaktör tasarımına esas olacak bilgiler araştırılmıştır. Bu konuda ülkemizde yapılan çalışmaların son derece sınırlı düzeyde olması nedeniyle, tutarlı, sistemli, sonuçları güvenilir ve daha sonraki biyokütle pirolizlerine bilgi birikimi sağlayacak çalışmaların yürütülmesi gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Ceviz bitkisi kültüre de alınması sebebiyle ülkemizin hemen hemen her bölgesinde yetiştirilebilmektedir. Ceviz meyvesinin işlenmesi sırasında ortaya çıkan kabuklarının yaygın bir endüstriyel kullanımlarının bulunmaması nedeniyle, bu çalışmada; enerji ve kimyasal hammadde kaynağı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Çalışmada, ceviz kabukları üzerine sabit yatak reaktörde yavaş piroliz koşullarında ve sabit yatak borusal reaktörlerde hızlı piroliz koşullarında, piroliz işlemi uygulanmış ve piroliz ürün verimleri üzerine piroliz parametrelerini etkileri incelenmiştir.

Elde edilen sıvı ürün, spektroskopik ve kromatografik olarak incelenmiş, diğer petrol ürünü sıvı yakıtlarla karşılaştırması yapılarak enerji ve petrokimya endüstrisi girdisi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Sabit yatak reaktörde yavaş piroliz koşullarında yapılan çalışmalarda piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, parçacık boyutu ve sürükleyici gaz (N_2) akış hızı parametre olarak seçilmiş ve bu parametrelerin piroliz ürün verimlerine olan etkisi araştırılmıştır. Piroliz deneyleri öncelikle +0.6-1.25 mm parçacık boyut aralığındaki örnekte, 350, 400, 500, 550 ve 700°C piroliz sıcaklıklarında, düşük ısıtma hızı (7°C/dk) ve yüksek ısıtma hızında (40°C/dk) olmak üzere iki farklı ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu grup çalışma sonuçlarına göre belirlenen en uygun piroliz sıcaklığında (500°C), $D_p < 0.224$, $0.224 < D_p < 0.6$, $0.6 < D_p < 1.25$, $1.25 < D_p < 1.8$ ve $D_p > 1.8$ mm parçacık boyutundaki örnekte, her iki ısıtma hızında piroliz deneyleri yürütülmüştür. Bu grup çalışmalar sonucunda en

uygun parçacık boyut aralığı belirlenmiş ve en yüksek sıvı ürün verimine 500 °C piroliz sıcaklığı, 40 °C/dk ısıtma hızında, +0.6-1.25 mm parçacık boyut aralığında % 20.27 ile ulaşılmıştır.

Literatürde, pirolizde sürükleyici gaz kullanımıyla, oluşan piroliz buharlarının sıcak ortamdan hızlı bir şekilde uzaklaştırılarak, daha ileri parçalanmalarını önleyip, sıvı ürün verimini artırılabilirliği belirtilmektedir. Bu nedenle, sabit yatak sürükleyici ortam piroliz deneyleri, 500°C piroliz sıcaklığı, +0.6-1.25 mm partikül boyutundaki örnekte, düşük (7°C/dk) ve yüksek (40°C/dk) ısıtma hızlarında, 50, 100, 200 ve 400 cm³/dk olmak üzere dört farklı sürükleyici gaz akış hızlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda elde edilen en uygun koşullarda, 500 °C piroliz sıcaklığı, 40°C/dk yüksek ısıtma hızı ve 100 cm³/dk azot akış hızında parçacık boyutunun etkisi bir kez daha kontrol edilmiştir. Sonuçta, sıvı ürün veriminin, yine 500 °C piroliz sıcaklığı, 40 °C/dk ısıtma hızı, +0.6-1.25 mm parçacık boyut aralığında ve 100cm³/dk sürükleyici gaz (N₂) akış hızında ancak %23.45 e artabildiği belirlenmiştir. Böylece, ceviz kabuklarının yavaş pirolizinde sürükleyici gaz kullanımıyla önemli sayılabilecek bir sıvı ürün verim artışı sağlanamadığı görülmüştür.

Sabit yatak borusal reaktörde hızlı piroliz koşullarında yapılan çalışmalarda ise, öncelikle, +0.6-1.25 mm parçacık boyut aralığında, 100 cm³/dk azot akış hızında, ısıtma hızının ve piroliz sıcaklığının etkisini incelemek amacı ile deneyler 100, 300 ve 800°C/dk ısıtma hızlarında ve 350, 400, 500, 550 ve 700°C olmak üzere beş farklı piroliz sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda seçilen en uygun piroliz sıcaklığında (500°C), ısıtma hızının ve parçacık boyutunun etkisini incelemek amacı ile 100, 300 ve 800 °C/dk ısıtma hızlarında, $D_p < 0.224$, $0.224 < D_p < 0.6$, $0.6 < D_p < 1.25$, $1.25 < D_p < 1.8$ ve $D_p > 1.8$ mm parçacık boyutlarında deneyler yürütülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda en uygun piroliz sıcaklığı (500°C), ısıtma hızı (300°C/dk) ve parçacık boyutu (+0.6-1.25 mm) belirlenmiş ve bu parametreler kullanılarak, sürükleyici gaz akış hızının etkisini kontrol etmek amacı ile deneyler 50, 100, 200 ve 400 cm³/dk sürükleyici gaz akış hızlarında tekrarlanmıştır. Deneylerde, piroliz sıcaklığı, parçacık boyutu ve sürükleyici gaz akış hızlarının; piroliz dönüşüm verimine, katı, sıvı ve gaz ürün verimi ile oluşan su verimine etkileri incelenmiştir.

Deneyler sonucunda, en yüksek sıvı ürün verimine; sabit yatak borusal reaktörde hızlı piroliz koşullarında, +0.6-1.25 mm parçacık boyut aralığında, 500⁰C piroliz sıcaklığında, 300⁰C/dk ısıtma hızında ve 100 cm³/dk azot akış hızında %31.22 değeri ile ulaşılmıştır.

Böylece ceviz kabuğunun pirolizinde; en uygun piroliz sıcaklığının 500-550⁰C sıcaklık aralığı olduğu belirlenmiştir. Pirolizde oluşan sıvı ürün veriminin arttırılmasına yönelik çalışmalarda yavaş piroliz koşullarında ısı ve kütle aktarım sınırlamalarını ortadan kaldırmak üzere yapılan parçacık büyüklüğü ve sürükleyici gaz akış hızı çalışmaları ile etkili sonuçlar elde edilememiştir. Bu ceviz kabuklarının sert yapısından kaynaklanabilecek bir olgudur. Ancak hızlı piroliz koşulları uygulandığında bu kütle ve ısı aktarım sınırlamalarının özellikle 300⁰C/dk ve üzerinde kırıldığı ve %31 düzeyinde bir sıvı ürün verimine ulaşıldığı görülmüştür.

Yapılan çalışmada, piroliz deneylerinin sonunda elde edilen sıvı ürün spektroskopik ve kromatografik olarak incelenmiştir. Katranın IR ve ¹H NMR spektrumları alınarak, elementel analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, katran sütun kromatografisinde, alifatik, aromatik, ve polar fraksiyonlara ayrılmış ve fraksiyonların elementel analizleri yapılmış, alifatik fraksiyonların gaz kromatogramları alınmıştır. Ayrıca sıvı ürün alifatik fraksiyonu benzetimli distilasyon ile petrol ürünü diğer sıvı yakıtlardan dizel ile karşılaştırılmıştır.

Tüm bu çalışmaların ekonomikliğinin belirlenmesi ve endüstriye uygulanabilmesi için ileriki çalışmalarda pilot ölçekte piroliz işlemlerinin tasarlanıp uygulanması zorunludur.

Bu çalışmada incelenmeyen bir retortlama parametresi olan basıncın retortlama verimlerine etkisinin araştırılması, olası bir endüstriyel süreçte uygulanabilecek en uygun retortlama koşullarının belirlenebilmesi için reaksiyon koşullarının reaksiyon kinetiği üzerindeki etkisinin incelenmesi yine araştırılması gereken konulardır.

Sonuç olarak yapılan çalışmada, biyokütle adayı ceviz kabuklarının pirolizi incelenip umut verici sonuçlar bulunmuştur. Bu araştırmalardan elde edilen sonuçların biyokütle kaynakların pirolizi için uygun koşulların belirlenmesinin yanında daha sonra yapılacak sistemli piroliz çalışmaları için katkı sağlayacağı

düşünülmektedir. Bu bulgulardan hareketle ülkenin enerji ve kimyasal hammadde sorunu karşısında biyokütle potansiyelinin değerlendirilmesi, bu konudaki çalışmaların ve araştırmaların genişletilerek sürdürülmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

1. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, *1998 Enerji Raporu*, Ankara, p.128, 2000
2. İnan, D., *Günlük Enerjiler ve Verimlilik*, Ulusal Enerji Verimliliği Kongresi, 257-266, Ankara, 2000
3. Stouth, B.A., *Biomass Energy Profiles*, FAO Agricultural Services, Bulletin 54, 1983
4. Elektrik İşleri Etüt İdarəsi Genel Müdürlüğü Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi, *Sanayide Enerji Yönetim Esasları*, Ankara, 1997
5. Taşdemiroğlu, E., *Biomass Energy Potential in Turkey*, Proc. of the Int. Cong. On Renew. En. Sour., 148-165, Spain, 1986
6. Kuleli, Ö. ve Yener, C., *Enerji Teknolojileri Araştırma Geliştirme Çalışmaları*, Türkiye 5. Enerji Kongresi, Genel Raportör Raporları, p.118, Ankara, 1990
7. Gökçe, M.A., *Enerji*, Ekonomi Politik, www.radyo.7.com.tr., 1999
8. Can, M., Kırbıyık, M. ve Yamankaradeniz, R., *Fosil ve Nükleer Yakıtlı Bileşik İst-Güç Santrallerinin Enerji Ekonomisi ve Çevre Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi*, Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri (2), 234-238, İzmir, 1994
9. Tekin, M., *İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Doğalgaz*, Türkiye 7. Enerji Kongresi, Cilt II, 43-48, Ankara, 1997
10. Haktanır, K. ve Arcak, S., *Enerji ve Ekoloji*, Ulusal Enerji Verimliliği Kongresi, 291-299, Ankara, 2000
11. Noyan, Ö.F., *Türkiye'de Eneji-Çevre Sorununun ve Nükleer Alternatifin Enerji Ekonomisindeki Yeri*, Türkiye 8. Enerji Kongresi Tebliğleri, Cilt II, 197-207, Ankara, 2000
12. Tüzüner, A.S., *"İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi" ve Elektrik Enerjisi Üretimi*, Türkiye 8. Enerji Kongresi Tebliğleri, Cilt II, 299-309, Ankara, 2000
13. Brown, L.R. ve Flavin, C., *Yeni Bir Yüzyıla Yeni Bir Ekonomi*, Dünyanın Durumu Birinci Bölüm, p.19, 2000
14. Tezcan, E., *Rüzgar Enerjisi*, p.2, 2000

KAYNAKLAR (DEVAM)

15. Demirerer, Ö., *Rüzgar Enerjisi*, Ulusal Enerji Verimliliği Kongresi, 267-268, Ankara, 2000
16. Uyar, T.S., *Türkiye Enerji Sektöründe Karar Verme ve Rüzgar Enerjisinin Entegrasyonu*, Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynak ve Teknolojileri Araştırma Birimi, 2000
17. Erul, G., *Jeotermal Enerji Kullanım Alanları ve Reenjeksiyon*, Ulusal Enerji Verimliliği Kongresi, 278-290, Ankara, 2000
18. Mertoğlu, O., Dokuz, İ. ve Bakır, N., *Türkiye'deki Mevcut Jeotermal Uygulamalar ve Projeksiyonların Önemi ve Dünyadaki Yeri*, Türkiye 8. Enerji Kongresi Tebliğleri, Cilt II, 97-107, Ankara, 2000
19. Koçak, A., *Türkiye'de Jeotermal Enerji Aramaları ve Potansiyeli*, Türkiye 8. Enerji Kongresi Tebliğleri, Cilt II, 109-123, Ankara, 2000
20. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, *1997 Enerji Raporu*, p.68, Ankara, 1999
21. Güney, İ. ve Kakilli, A., *Türkiye'de Primer Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi ve Yeni Çözümler Getirilmesi*, Türkiye 5. Enerji Kongresi Tebliğleri (1), 183-188, Ankara, 1990
22. Türe, E., *Elektrik Enerjisi Depolamanın Önemi ve Yeni Gelişmeler*, Ulusal Enerji Verimliliği Kongresi, 269-277, Ankara, 2000
23. Çataltaş, A.İ., *Kimyasal Proses Endüstrileri*, p.567, İstanbul, 1983
24. Angın, D., *Kolza (Rape Seed) Tohumundan Piroiliz Yöntemiyle Sentetik Sıvı Yakıt Üretiminin İncelenmesi*, O.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, p.165, 1999
25. Acaroğlu, M. ve Ültanır, Ö., *Türkiye'de Biyokütle (Biyomas) Enerji Potansiyeli ve Değerlendirilmesi için Öneriler*, Türkiye 8. Enerji Kongresi Tebliğleri, Cilt II, 161-171, Ankara, 2000
26. Çam Onay, Ö., *Fındık Kabukları'nın Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak İncelenmesi*, O.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, p.133, 1996
27. Erdin, E., *Atıklar Enerji Kaynağı mı?*, Türkiye 4. Enerji Kongresi Özel Oturum Tebliğleri, 59-74, İzmir, 1986

KAYNAKLAR (DEVAM)

28. Yakar, N. ve Bilge, E., *Genel Botanik*, p.488, İstanbul, 1987
29. Probst, R.F. and Hicks, E.R., *Synthetic Fuels*, Mc Graw Hill Book Company, p.490, 1982
30. Eoff, K.M. and Smith, W.H., *Solid Fuels*, Biomass Handbook, Gordon and Breach Science Publishers, 563-578, Amsterdam, 1989
31. Cliff, E.P., *Prepared for the National Commission on Materials Policy*, Timber: The Renewable Materials, 3-6, 1973
32. Ege, Ö., *Sentetik Sıvı Yakıt Üretimi için Euphorbia Rigida Pirolizi ve Ürünlerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, O.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, p.141, 1996
33. Klass, D.L., *Energy from Biomass and Wastes*, Institute of Gas Technology, Washington, D.C., 29-38, 1978
34. Samir, S.S. and Oskar, R.Z., *Biomass Conversion Process for Energy and Fuels*, Plenum Press, Newyork, p.248, 1981
35. Barrier, J.W. and Bulls, M.M., *Feedstocks Availability of Biomass and Wastes, Emerging Technologies for Materials and Chemicals from Biomass*, American Chemical Society Washington, D.C., 410-421, 1992
36. Strehler, A. and Stützel, W., *Biomass Residues*, Biomass-Regenerable Energy, D.O., Hall and R.P., Overend (Eds), John Wiley Sons, 1987
37. Wereko-Brobby, C.Y. and Hagan, E.B., *Biomass Conversion and Technology*, John Wiley Sons, Sussex, p.203, 1996
38. Ficher, J.R., Iannotti, E.L. and Fulhage, C.D., *Production of Methane Gas from Combinations of Wheat Straw and Swine Manure*, Transactions of Asae, 546-548, 1983
39. Hills, D.J. and Robers, D.W., *Conversion of Tomato Peach and Honeydew Solid Waste into Methane Gas*, Transactions of the Asae, 820-826, 1982
40. Howeland, D.A., Walewender, W.P., Fan, L.T. and Lai, F.S., *Steam Gasification Grain Dust in a Fluidized Bed Reactor*, Transactions of the Asae, 1076-1080, 1982

KAYNAKLAR (DEVAM)

41. Hashimoto, A.G., *Conversion of Straw Manure Mixtures to Methane at Mesophilic and Thermophilic Temperatures*, Biotechnol. Bio. Eng., 25, 185-200, 1983
42. Solar, S.N.G., *Final Report American Gas Association Project*, I.U., Prepared by İnter Technology Crop., American Gas Association, Washington, D.C., 1-144, 1975
43. Pütün, E., Koçkar, Ö.M., Gerçel, F., Ekinçi, E., Andrasen, J., Marolo-Valer, M.M. and Snape, C.E., *Effect of Mass Transfer and Hydrogen Pressure on the Fixed Bed Pyrolysis Sunflower Bagasse*, 209th A.C.S. National Meeting, Washington, D.C., 39, 4, 1029-1033, 1994
44. Kirk-Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley and Sons Inc., New York, Vol 11, p.995, 1980
45. Aksoy, A.Ş. ve Acaroğlu, M., *Biyomastan Enerji Eldesinde Yeni Bir Enerji Bitkisi "Miscanthus Sinensis"*, Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri (1), İzmir, 445-460, 1994
46. Özer, Z., *Bitkilerdeki Gizli Güç Biyokütle Enerjisi*, Bilim ve Teknik, 342, 56-61, 1996
47. Renewable EnergyWorld, James&James (Science Publishers) Ltd., Vol 3, Number 3, May-June 2000
48. Kirk-Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley and Sons Inc., New York, Vol 11, p.995, 1980
49. Aybar, E.N., Saral, R. ve Fikret, H., *Türkiye'nin Bugünü ve Gelecekteki Enerji Durumu*, Türkiye 4. Enerji Kongresi, İzmir, 755-788, 1986
50. Şölener, M., *Ayçiçek Ekstraksiyon Küspesinin Pirolyzi*, Yüksek lisans Tezi, O.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, p.127, 1997
51. Kanat, G., *Atıksu Arıtım Yöntemleri ve Biyogaz Üretimi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 2000
52. Gençoğlu, M.T. ve Cebeci, M., *Türkiye'nin Enerji Kaynakları Arasında Güneş enerjisinin Yeri ve Önemi*, Türkiye 8. Enerji Kongresi Tebliğleri, Cilt II, 63-73, Ankara, 2000

KAYNAKLAR (DEVAM)

53. Terzi, Ü.K., Güney, İ. ve Oğuz, Y., *Biyomas Enerjisinin İncelenmesi ve Bir Uygulama Çalışması : İatanbul-Hekimbaşı Çöp Toplama Merkezi, Türkiye 8. Enerji Kongresi Tebliğleri, Cilt II, 173-184, Ankara, 2000*
54. Pala, C., *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Politikaları, 4.Kaynaklar, p298, 1984*
55. Gates, C.D., *The Disposal of Domestic Wastes in Rural Area, In Agriculture and the Quality of Our Environment, Am. Assoc. for the Advancement of Science, 85, 367-384, 1967*
56. Mantell, C.L., *Solid Wastes, Wiley, New York, p.1127, 1975*
57. Jones, M.R., *Biomass for Energy (General), Biomass Handbook; O. Kinati, C.W. Hall, K. Wagener, S. Tsuru, T. Suzuki, S. Sudo (Eds) Gordon & Breach Publishers, Amsterdam, 97-107, 1989*
58. Yorgun, S., *Ayçiçeği Yağ Endüstrisi Yan Ürünlerinden Piroliz Yöntemi ile Sentetik Yakıt Üretimini İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, p.148, 1993*
59. Grahmann, K., Wyman, C.E. and Himmel, M.E., *Potential for Fuels From Biomass and Wastes, Emerging Technologies for Materials and Chemicals from Biomass (2), R.M. Rowel, T.P. Schultz, R. Narayan (Eds.), Amer. Chem. Soc. Washington, D.C., 354-392, 1990*
60. *Bilim ve Teknik, p.54, Mayıs, 1996*
61. Pimental, D., *Review Article Biomass Energy, Solar Energy, 30, 1-131, 1983*
62. Aybar, E.N., *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı "Genel Enerji Planlaması" Çalışmalarının İlk Sonuçları, Türkiye 5. Enerji Kongresi, 76-220, Ankara, 1990*
63. White, L.P. and Plasket, L.G., *Biomass as Fuel, Academic Press Inc., London, p.210, 1981*
64. Gül, M., Çelik, S. Ve Demirbaş, A., *Tahıl Saplarının Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi, Anadolu Üniversitesi Eskişehir Enerji Sempozyumu, 349-355, Eskişehir, 1985*

KAYNAKLAR (DEVAM)

65. Marvin, O.B., *New Crops for Chemical and Materials*, Biomass Handbook, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 107-114, 1989
66. Matthew, R.J., *Biomass for Energy*, Biomass Handbook, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 97-107, 1989
67. Koçkar, Ö.M., *At Kestanesi Ekstraksiyonu ve Esin İzolasyonu*, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, p.102, 1989
68. Hoffmann, J.J., *Arid Lands Plant as Feedstocks for Fuels and Chemicals*, CRC Crit. Rev. Plant Sci., 1, 95-116, 1983
69. Akdağ, A., *Kolza Yağı Metanol Transesterifikasyon Reaksiyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, p.102, 1994
70. Tetik, E., *Kolza Sap Saman Pirolyzi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, p.109, 1997
71. Beenackers, A.A.C.M. and Bridgwater, A.V., *Gasification and Pyrolysis of Biomass In Europe*, Proceeding of an International Conference of Pyrolysis and Gasification, Luxembourg, 125-155, 1989
72. Hall, D.O., Barnard, G.W. and Mass, P.A., *Biomass Energy in Developing Countries*, Pergamon Press, Oxford, 1982
73. Corella, J., Hergudo, J. and Alday, F.J., *Pyrolysis and Steam Gasification of Biomass in Fluidized Beds Influence of the Type and Location of the Biomass Feeding Point on the Product Distribution*, The International Conference on Research in Thermochemical Biomass Conversion, Phoenix, Arizona, USA, 384-398, 1988
74. Liinanki, L., Svenningsson, P.J. and Thessen, G., *Gasification of Agricultural Residues in a Downdraft Gasifier*, Energy from Biomass, 3rd E.C. Conference, Italy, 832-836, 1985
75. Ross, R.A. and Fong, P., *Ind. Eng. Chem. Prod. Res.-Div.*, 20, p.197, 1981
76. Figueriedo, J.I., Rivera-Utrilla, P. and Ferro-Garcia, M.A., *Carbon* 25, p.703, 1987

KAYNAKLAR (DEVAM)

77. Mehrling, P. and Reimert, R., *Fuel and Synthesis Gas from Biomass Via Gasification in the Circulating Fluid Bed*, Energy from Biomass 3rd E.C. Conference, Italy, 905-910, 1985
78. Elliot, D.C., Baker, E.G., Ostman, A., Gevert, S.B., Beckman, D., Solantausta, V. and Hornell, C.A., *Technical and Economic Analysis at Direct Biomass Liquefaction*, IGT Symp. On Energy from Biomass and Wastes XII, New Orleans, 744-767, 1989
79. Schuchardt, U. and Matos, F.A.P., *Liquefaction of Sugarcane Bagasse with Formate and Water*, Fuel, Vol. 61, 106-110, 1982
80. Boocock, D.B.G., Kallury, R.K. and Tidwell, T., Chemistry, 55-168, 1983
81. Elliot, D.C., *Analysis and Comparasion of Product from Wood Liquefaction*, Fundamentals of Thermochemical Biomass Conversion, Elsevier Appl. Sci. Pub., 1985
82. Ogi, T., Yokoyama, S. and Koguchi, K., *Direct Liquefaction of Wood by Catalyst (Part 1)*, Sekiyu Gakkaishi, Vol.28 (3), 239-245, 1985
83. Meier, D., Larimer, D.R. and Faix, D., *Direct Thermochemical Liquefaction of Plant Biomass Using Hydrogenating Conditions*, Energy from Biomass, 3rd E.C. Conference, Italy, 929-932, 1985
84. Dote, Y., Tashikatsu, H., Akira, S. and Tomoko, O., *Analysis of Oil Dermed From Liquefaction of Sewage Sludge*, Fuel, Vol. 71, 1071-1073, 1992
85. Karaca, F., Bolat, E. ve Dinçer. S., *Soma Linyitinin Sivılaştırılmasında Sıcaklığın ve Basıncın Etkisi*, 4.UKMK, 4-7 Eylül 2000, İstanbul, Basımda
86. Zaror, C.A. and Pyle, D.L., *The Pyrolysis of Biomass : A General Rewiev*, Proc. İndian Acad. Sci., Vol.5, 269-285, 1982
87. Deglise, X. and Magne, P., "Pyrolysis and Industrial Charcoal", Biomass: Regenerable Energy, Edited by D.O. Hall ad R.P. Overend, Elsevier Applied Science, London and New York, 221-235, 1987
88. Bridgwater, A.V. and Bridge, S.A., in: A.V. Bridgwater (Ed.), *Pyrolysis Liquids Upgrading and Utilisation*, Elsevier Appl. Sci., in press, 1991

KAYNAKLAR (DEVAM)

89. Soltes, E.D.J., Wiley, A.T. and Kennylin, S.C., *Biomass Pyrolysis-Towards an Understanding of its Versality and Potentials*, Third Symposium on Biotechnology in Energy Production and Conversation, John-Wiley, Sons. Inc., 125-136, 1981
90. Bridgwater, A.V. and Cottam, L.M., "*Costs and Oppurtunities for Biomass Pyrolysis Liquids Production and Upgrading*", Biomass for Energy, Industry and Environment, 6th E.C. Conference, Edited by G. Grassi, A. Collina and H. Zibetta, Elsevier Applied Science, London and New york, 679-692, 1992
91. Finney, C.S. and Sotter, J.G., AICHE Symp. Ser. No. 146, 71, 51, 1975
92. Pyle, O.L., *Wood Pyrolysis: a Working Paper*, Chem. Eng. Department, Imperial College, London, 1977
93. Ekinci, E. ve Okutan, H., *Piroliz Düşük Sıcaklık Karbonizasyonu*, Kömür, O. Kural (Ed.), İstanbul, 632-652, 1991
94. Shafizadeh, F., *Introduction to Pyrolysis of Biomass*, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol.3, 283-305, 1982
95. Grassi, G., *Community R&D Strategy in the Field of Biomass Pyrolysis and Gasification*, Pyrolysis and Gasification, G.L. Ferrero, K. Moniatis, A. Buekers and A.V. Bridgwater (Eds.), Elsevier Science Publishers Ltd., London and New york, 7-13, 1989
96. Goldstein, I.S., *Organic Chemicals from Biomass*, CRC press, Inc., Second Printing, Florida, 1983
97. Mattuchi, E., Grassi, G. and Palz, W., "*Thermochemical Conversion of Biomass*", Pyrolysis as a Basic Technology for Large Agro-Energy Project, Edited by E. Mattuchi, G. Grassi, W. Palz, 216-220, 1987
98. Churin, E., et.al., in: A.V. Bridgwater and J.l. Kuester (Eds.), *Research in Thermochemical Biomass Conversion*, Elsevier Appl. Sci., 1988
99. Baker, E.G. and Elliot, D., et.al., in: A.V. Bridgwater and J.L. Kuester (Eds.), *Research in Thermochemical Biomass Conversion*, Elsevier Appl. Sci., 1988

KAYNAKLAR (DEVAM)

100. Haag, W.D., Rodewald, P.G. and Weisz, P.B., *Catalytic Production of Aromatics and Olefins from Plant*, American Chemical Society Meeting, San Francisco, 24-29, 1980
101. Kural, O., *Kömür*, Kurşit Matbaası, p.975, 1991
102. Whitehurst, D., Mitchell, T.O., Farcasiu, M. and Lin, N.H., *Coal Liquefaction the Chemistry and Technology of Thermal Process*, Academic Press, p.378, 1980
103. Mariatis, K. and Buekens, A., *Fast Pyrolysis of Biomass*, The International Conference on Research in Thermochemical Biomass Conversion, Phoenix, Arizona, USA, 179-191, 1988
104. Rodriguez, R., Magne, P. and Deglise, X., *Sugarcane Bagasse as a Feedstock for an Industrial Fast Pyrolysis Process Under Development*, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 12, 601-318, 1987
105. Magne, P., Donnot, A. and Deglise, X., *Kinetics of Wood Tar Pyrolysis*, Energy from Biomass, 3rd E.C. Conference, Italy, 822-826, 1985
106. Scott, D.S., Piskorz, J. and Radlern, A.G., *Pyrolysis of Agricultural and Forest Wastes*, Emerging Technologies for Materials and Chemicals from Biomass, American Chemical Society, Washington, D.C., 422-437, 1992
107. Graham, R.G. and Freed, B.A., *The Production of Pyrolytic Liquids, Gas and Char from Wood and Cellulose by Fast Pyrolysis*, The International Conference on Research in Thermochemical Biomass Conversion, Phoenix, Arizona, USA, 629-642, 1988
108. Chantal, P., Koliagune, S., Grandmaison, J.L. and Matley, A., *Production of Aspen Poplar Pyrolytic Oils over HZSM-5*, Applied Catalysis, Vol. 10, 317-332, 1984
109. Vasalos, J.A., Samaloda, N.C. and Achlados, G.E., *Biomass Pyrolysis for Maximizing Phenolic Liqueds*, The International Conference on Research in Thermochemical Biomass Conversion, Phoenix, Arizona, USA, 251-263, 1988

KAYNAKLAR (DEVAM)

110. Figuerideo, J.L., Valenzuela, C., Bernalte, A. and Encinar, J.M., *Pyrolysis of Holm-Oak Wood: Influence of Temperature and Particle Size*, Fuel, Vol.68, 1012-1016, 1989
111. Font, R., Marcilla, A., Verdu, E. and Devesa, J., *Catalytic Pyrolysis of Almond Shells: Influence of Temperature and $CoCl_2$ and Almond Shell Ratio*, Can. J. Chem. Eng., Vol. 68, 312-318
112. Lucchesi, A., Giuseppe, M., Casimo, R. and Thessen, G., *A pilot-Plant for the Study of the Production of Hydrogen Rich Syngas by Gasification of Biomass*, The International Conference on Research in Thermochemical Biomass Conversion, Phoenix, Arizona, USA, 642-654, 1988
113. Bhattacharya, P.K., Parthiban, V. and Kunzru, D., *Pyrolysis of Black Liquor Solids*, Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., Vol. 25, 420-426, 1986
114. Gilbert, A.F. and Cooper, D.F., *Hydropyrolysis of Kraft Hardwood and Softwood Black Liquor*, Can. J. Chem. Eng. , Vol. 65, 78-81, 1987
115. Donald, L.D. and Emert, G.H., *Fuels from Biomass and Wastes*, Ann. Arbor Science Publishers Inc, 172-185, 1981
116. Pütün, E., Beşler, S., Pütün, A.E. and Ekinci, E., *Hydrocarbon Production in Arid Lands*, Chimica Acta Turcica, 17, 307-316, 1989
117. Pütün, A.E., Özbay, N., Koçkar, Ö.M. and Pütün, E., *Fixed-Bed Pyrolysis of Cottonseed Cake: Product Yields and Compositions*, Energy Sources, 19, 905-915, 1997
118. Onay, Ö., Beis, S.H., Akyalçın, B.T., Koçkar, Ö.M., *Aspir Tohumundan Piroliz Yöntemi ile Sentetik Sıvı Yakıt Üretimi*, Türkiye 8. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri, Cilt II, 209-214, Ankara, 2000
119. İzbirak, R., *Bitki Coğrafyası*, 220-221, Ankara Üniversitesi Basımevi, 1976
120. T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Küçük Sanatkarlar ve Sanayi Bölgeleri ve Siteleri Genel Müdürlüğü, *Bitkilerden Elde edilen Boyalarla Yün Liflerinin Boyanması*, 36-37, Ankara, 1991

KAYNAKLAR (DEVAM)

121. Yaltırık, F., *Dendroloji Ders Kitabı II Angiospermae (Kapalı Tohumlular) Bölüm I*, 52-68, İstanbul, 1988
122. Öztığ, F., *Faydalı Bitkiler, Ekonomik Değeri ve Morfolojik Özellikleri Yönünden Bitki Cinsleri*, p.49, İstanbul, 1971
123. Topak, R. ve Bayrak, S., *Aşılı Ceviz Yetiştiriciliği*, Ankara, 1998
124. T.C Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, *Ceviz Yetiştiriciliği*, tarım.gov.tr., 2000
125. Yakar, N., *Renkli Türkiye Bitkileri Atlası*, İstanbul, 1964
126. ASTM, Standart Test Method of Moisture Content of Wood, in ASTM Annual Book of American Society for Testing and Materials Standarts, Easton, MD, USA, D 2016-74, 1983
127. ASTM, Standart Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel-3, in ASTM Annual Book of American Society for Testing and Materials Standarts, Easton, MD, USA, E 897-82, 1983
128. ASTM, Standart Test Method for Ash in Wood, in ASTM Annual Book of American Society for Testing and Materials Standarts, Easton, MD, USA, D 1102-84, 1983
129. TS., Türk Standartları Enstitüsü, Yağlı Tohum Küspelerinin Analizi Metodları, TS 324, 1. Baskı, 1981
130. ASTM, Standart Test Method for Boiling Range Distillation of Crude Petroleum, (Reapproved 1978), D 285-62, Section 5, Vol. 05, 01, in ASTM Annual Book of American Society for Testing and Materials Standarts, Easton, MD, USA, D 56-D 1160, 1985