

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİMYA ANABİLİM DALI**

**SARMAŞIK AĞACININ HIZLI PİROLİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tuncay ŞEKERCİ**

**HAZİRAN 2012  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİMYA ANABİLİM DALI**

**SARMAŞIK AĞACININ HIZLI PİROLİZİ**

**Tuncay ŞEKERCİ**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"YÜKSEK LİSANS(KİMYA)"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29.05.2012  
Tezin Savunma Tarihi : 21.06.2012**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ**

**Trabzon 2012**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Kimya Ana Bilim Dalında**

**Tuncay ŞEKERCİ Tarafından Hazırlanan**

**SARMAŞIK AĞACININ HIZLI PİROLİZİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 29 /05 / 2012 gün ve 1458 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ .....**

**Üye :Yrd.Doç. Dr Erhan ÇALIŞKAN .....**

**Üye :Yrd. Doç. Dr Sedat KELEŞ .....**

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Yapılan bu çalışma,rezervleri azalmakta olan ve çevreye verdikleri olumsuz etkilerinden dolayı fosil yakıtların yerini almaya başlayan yenilenebilir enerji kaynaklarına bir katkı sağlamak için hazırlanmıştır. Biyokütleden elde edilen sıvı yakıtın iyileştirilerek enerji değeri açısından petrole eşdeğer bir yakıt olarak kullanıla bilinmesi sağlanabilir.

Danışmanlığımı üstlenen ve önerileriyle çalışmalarımı yönlendiren, sürekli yardım ve anlayışlarını gördüğüm değerli hocam Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ'A

Laboratuvarlarında çalışma olanağı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen hocam Yrd. Doç.Dr.Sedat KELEŞ'E

Bana her zaman desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tuncay ŞEKERCİ

Trabzon 2012

## **TEZ BEYANNAMESİ**

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “sarmaşık ağacının hızlı pirolizi “bu çalışmayı danışmanım Prof.dr Kamil Kaygusuz ‘un sorumluluğunda tamamladığımı verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/ analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı ,başka kaynaklardan aldığım ilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.28/06/2012

Tuncay ŞEKERCİ

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Biyokütle.....	3
1.2.1 Biyoküle Kaynakları.....	4
1.2.2 Biyokütlenin Kimyasal Yapısı ve Bileşenleri.....	6
1.2.2.1 Selüloz.....	6
1.2.2.2 Hemiselüloz.....	7
1.2.2.3 Lignin .....	8
1.2.2.4 İnorganik Maddeler .....	9
1.2.2.5 Organik Ekstraktifler.....	9
1.2.3 Biyokütlenin Enerji Kaynağı Olarak Kullanılması.....	9
1.3 Biyokütleye Uygulanan Dönüşüm Prosesleri.....	10
1.3.1 Direkt Yakma.....	10
1.3.2 Gazlaştırma.....	10
1.3.3 Piroliz.....	11
1.3.3.1 Geleneksel Piroliz.....	12
1.3.3.2 Hızlı Piroliz.....	12
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	14
2.1 Kullanılan Hammade ve Hazırlanması.....	14
2.2 Hammadeye Uygulanan Kısa Analiz Tayinleri .....	15
2.2.1 Nem Miktarı Tayinleri.....	15

2.2.2	Kül Miktarı Tayinleri.....	15
2.2.3	Uçucu Madde Miktarı Tayinleri.....	15
2.2.4	Sabit Karbon Tayini.....	25
2.3	Hammaddeye Uygulanan Bileşim Analiz Tayinleri.....	16
2.3.1	Organik Ekstraktif Miktarı Tayini.....	16
2.3.2	Holoselüloz Miktarı Tayini.....	16
2.3.3	Selüloz Miktarı Tayini.....	17
2.3.4	Hemiselüloz Miktarı Tayini.....	17
2.3.5	Lignin Miktarı Tayini .....	17
2.4	Hammaddenin Elementel Analizi.....	18
2.5	Hammdenin Isıl Değerinin Belirlenmesi.....	18
2.6	Hammaddenin Pirolizi.....	19
3.	BULGULAR.....	22
3.1	Kullanılan Hammdenin Özellikleri.....	22
3.2	Piroliz Sonuçları.....	23
3.2.1	Piroliz Ürün Verimleri Üzerine Sıcaklığın Etkisi.....	28
3.2.2	Piroliz Ürün Verimleri Üzerine Sürükleyici Gaz Akış Hızının Etkisi .....	39
3.2.3	Piroliz Ürün Verimleri Üzerine Parça Boyutunun Etkisi.....	51
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	63
5.	ÖNERİLER.....	66
6.	KAYNAKLAR.....	67

## ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans

ÖZET

SARMAŞIK AĞACININ HIZLI PİROLİZİ

Tuncay ŞEKERCİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ  
2012, 71 Sayfa

Fosil yakıtların çevreyi kirlletmesi ve rezervlerinin azalması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep her geçen gün artmaktadır. Dolayısıyla yeni ve temiz enerji kaynaklarının tüketimindeki payı artmaktadır.

Bu çalışmada, hızlı piroliz yöntemiyle sarmaşık ağacının pirolizi gerçekleştirildi. Pirolizden elde edilen ürün verimi üzerine, parçacık boyutunun ve sürükleyici gaz akış hızının etkileri araştırıldı. Elde edilen sıvı ürünün yakıt ve kimya endüstrisi için ham madde kaynağı olarak kullanılabilirliği incelendi. Deneyler 200 °C/dak ısıtma hızında 400,500,600 ve 700 °C piroliz sıcaklıklarında gerçekleştirildi. Deneyler sonucunda ürün veriminin büyük ölçüde piroliz sıcaklığına bağlı olduğu gözlemlendi. Yapılan deneysel çalışma sonucunda piroliz sıvısının maksimum verimle elde edildiği, en uygun piroliz sıcaklığı 600 °C olarak bulundu.

**Anahtar Kelimeler:** Hızlı pirolizi, Biyokütle, Sarmaşık



Master Thesis

SUMMARY

FAST PYROLYSIS OF SWEET TREE

Tuncay ŞEKERCİ

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Chemistry Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Kamil KAYGUSUZ  
2012, 71 Pages

There has been increasing interest in renewable energy sources, because, fossil fuels pollute to the our environmental quality. Therefore the share of new and clean energy sources in the total energy consumption is increasing.

In this study , we performed pyrolysis of sweet tree bvia fast pyrolysis .We investigated effects of particle size, pyroysis temperature and sweep gas flow rate on the pyrolysis product yields.Product obtained from fast pyrolysis of sweet trees were investigated as a renewable energy sources and chemical feed stock. The reactor was heated at a heating rate of 200 °C per minute to a pyrolysis temperature of 400, 500, 600 and 700 °C. Experiments show that pyrolysis yields and conversion efficiencies depended mainly on pyrolysis temperature and 600 °C was the most suitable for decomposition of the hazelnut cupula to reach maximum oil yield.

**Key Words:** Fast pyrolysis, Biomass, Sweet

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1. Biyokütlenin temel bileşenleri.....	6
Şekil 2. Selülozun kimyasal yapısı.....	7
Şekil 3. Hemiselülozu oluşturan monosakkaritler.....	8
Şekil 4. Avrupa kayınından ( fagus sylvatica) elde edilen lignin molekülünün parça yapısı.....	8
Şekil 5. Hızlı piroliz deney düzeneği şeması.....	20
Şekil 6. Hızlı piroliz deney düzeneğini resmi.....	21
Şekil 7. Hızlı piroliz deney düzeneği reaktör resmi.....	21
Şekil 8. Sarmaşık ağacının pirolizi için 1-2 mm parçacık boyutu ve 100 cm <sup>3</sup> /dak azot akış hızında piroliz ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.....	29
Şekil 9. Sarmaşık ağacının pirolizi için 1-0,850 mm parçacık boyutu ve 100 cm <sup>3</sup> /dak azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.....	29
Şekil 10. Sarmaşık ağacının pirolizi için 0,850-0,425 mm parçacık boyutu ve 100 cm <sup>3</sup> /dak azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.....	30
Şekil 11. Sarmaşık ağacının pirolizi için ≤ 0,425 mm parçacık boyutu ve 100 cm <sup>3</sup> /dak azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.....	30
Şekil 12. Sarmaşık ağacının pirolizi için 1-2 mm parçacık boyutu ve 200 cm <sup>3</sup> /dak azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.....	31
Şekil 13. Sarmaşık ağacının pirolizi için 1-0,85 mm parçacık boyutu ve 200 cm <sup>3</sup> /dak azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.....	32
Şekil 14. Sarmaşık ağacının pirolizi için 0,85-0,425 mm parçacık boyutu ve 200 cm <sup>3</sup> /dak azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.....	32

Şekil 15.	Sarmaşık ağacının pirolizi için $\leq 0,425$ mm parçacık boyutu ve 200 $\text{cm}^3/\text{dak}$ azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.....	33
Şekil 16.	Sarmaşık ağacının pirolizi için 1-2 mm parçacık boyutu ve 300 $\text{cm}^3/\text{dak}$ azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.....	34
Şekil 17.	Sarmaşık ağacının pirolizi için 1-0,850 mm parçacık boyutu ve 300 $\text{cm}^3/\text{dak}$ azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.....	34
Şekil 18.	Sarmaşık ağacının pirolizi için 0,85-0,425 mm parçacık boyutu ve 300 $\text{cm}^3/\text{dak}$ azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.....	35
Şekil 19.	Sarmaşık ağacının pirolizi için $\leq 0,425$ mm parçacık boyutu ve 300 $\text{cm}^3/\text{dak}$ azot akışı.....	35
Şekil 20.	Sarmaşık ağacının pirolizi için 1-2 mm parçacık boyutu ve 400 $\text{cm}^3/\text{dak}$ azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi	36
Şekil 21.	Sarmaşık ağacının pirolizi için 1-0,850 mm parçacık boyutu ve 400 $\text{cm}^3/\text{dak}$ azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.....	37
Şekil 22.	Sarmaşık ağacının pirolizi için 0,850-0,425 mm parçacık boyutu ve 400 $\text{cm}^3/\text{dak}$ azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.....	37
Şekil 23.	Sarmaşık ağacının pirolizi için $\leq 0,425$ mm parçacık boyutu ve 400 $\text{cm}^3/\text{dak}$ azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.....	38
Şekil 24.	1,00-2,00 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki piroliz dönüşümü üzerine azot akış hızının etkisi.....	39
Şekil 25.	1,00-0,850 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki piroliz dönüşümü üzerine azot akış hızının etkisi	40
Şekil 26.	0,850-0,425 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki piroliz dönüşümü üzerine azot akış hızının etkisi.....	40
Şekil 27.	$\leq 0,425$ mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki piroliz dönüşümü üzerine azot akış hızının etkisi....	41

Şekil 28.	2-1mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki sıvı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi	42
Şekil 29.	1,00-0,850-mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki sıvı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi	42
Şekil 30.	0,850-0,425 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki sıvı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi	43
Şekil 31.	$\leq 0,425$ mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki sıvı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi	43
Şekil 32.	1,00-2,00 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki katı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi.....	45
Şekil 33.	1,00-0,850 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki katı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi.....	45
Şekil 34.	0,850-0,425 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki katı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi.....	46
Şekil 35.	$\leq 0,425$ mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki katı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi	46
Şekil 36.	1,00-2,00 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardakigaz ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi.....	48
Şekil 37.	1,00-0,850 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardakigaz ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi.....	48
Şekil 38.	0,850-0,425 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardakigaz ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi.....	49
Şekil 39.	$\leq 0,425$ mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardakigaz ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi....	49
Şekil 40.	400 °C sıcaklıkta ve 100 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	5
Şekil 41.	400 °C sıcaklıkta ve 200 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	52
Şekil 42.	400 °C sıcaklıkta ve 300 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	52

Şekil 43.	400 °C sıcaklıkta ve 400 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	53
Şekil 44.	500 °C sıcaklıkta ve 100 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	54
Şekil 45.	500 °C sıcaklıkta ve 200 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	55
Şekil 46.	500 °C sıcaklıkta ve 300 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	55
Şekil 47.	500 °C sıcaklıkta ve 400 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	56
Şekil 48.	600 °C sıcaklıkta ve 100 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	57
Şekil 49.	600 °C sıcaklıkta ve 200 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	57
Şekil 50.	600 °C sıcaklıkta ve 300 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	58
Şekil 51.	600 °C sıcaklıkta ve 400 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	58
Şekil 52.	700 °C sıcaklıkta ve 100 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	60
Şekil 53.	700 °C sıcaklıkta ve 200 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	60
Şekil 54.	700 °C sıcaklıkta ve 300 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi	61
Şekil 55.	700 °C sıcaklıkta ve 400 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.....	62

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarındaki durumu.....	3
Tablo 2. 2003 yılında Türkiye'nin yıllık biyokütle potansiyeli.....	4
Tablo 3. Bazı biyokütle türlerinin tipik lignoselüloz içerikleri.....	6
Tablo 4. Odun yongaları içerisindeki mineral içeriği.....	9
Tablo 5. Sarmaşık ağacının kısa analiz sonuçları.....	22
Tablo 6. Sarmaşık ağacının bileşen sonuçları.....	22
Tablo 7. Sarmaşık ağacının elementel analiz sonuçları.....	22
Tablo 8. Sarmaşık ağacı 2,00-1,00 mm parçacık boyutu ve 400°C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	23
Tablo 9. Sarmaşık ağacı 1,00-0.850 mm parçacık boyutu ve 400°C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	23
Tablo 10. Sarmaşık ağacı 0,850-0,425 mm parçacık boyutu ve 400°C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	24
Tablo 11. Sarmaşık ağacı $\leq 0,425$ mm parçacık boyutu ve 400°C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	24
Tablo 12. Sarmaşık ağacı 1,00-2,00 mm parçacık boyutu ve 500 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	24
Tablo 13. Sarmaşık ağacı 1,00-0,850 mm parçacık boyutu ve 500 deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	25
Tablo 14. Sarmaşık ağacı 0,850-0,425 mm parçacık boyutu ve 500 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	25
Tablo 15. Sarmaşık ağacı $\leq 0,425$ mm parçacık boyutu ve 500 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	25
Tablo 16. Sarmaşık ağacı 1,00-2,00 mm parçacık boyutu ve 600 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	26

Tablo 17. Sarmaşık ağacı 1,00-0,850 mm parçacık boyutu ve 600 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	26
Tablo 18. Sarmaşık ağacı 0,850-0,425 mm parçacık boyutu ve 600 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	26
Tablo 19. Sarmaşık ağacı $\leq 0,425$ mm parçacık boyutu ve 600 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	27
Tablo 20. Sarmaşık ağacı 1,00-2,00 mm parçacık boyutu ve 700 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	27
Tablo 21. Sarmaşık ağacı 1,00-0,850 mm parçacık boyutu ve 700 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	27
Tablo 22. Sarmaşık ağacı 0,850-0,425 mm parçacık boyutu ve 700 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	28
Tablo 23. Sarmaşık ağacı $\leq 0,425$ mm parçacık boyutu ve 700 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları.....	28

## SEMBOLLER DİZİNİ

ASTM	: American Society for Testing and Materials
CFB	: Sirkülasyonlu akışkan yataklı
CHP	: Birleştirilmiş ısı ve güç sistemleri
D	: Dekstro
DTG	: Diferansiyel termogravimetri
ETTE	: Etil tert butil eter
GW	: Giga watt
HHV	:Üst ısı değeri
LHV	:Düşük ısı değeri
MHz	: Mega Hert
MJ	: Mega joule
MPa	: Mega paskal
MW	: Mega watt
MTEP	: Milyon ton eşdeğer petrol
MHV	: Orta ısı değeri
PAH	:Polisiklik aromatik hidrokarbonlar
PHLEFR	:Plazma ısıtmalı doğrusal girişli akışkan reaktör
TAPPI	:Technical Association of the Pulp and Paper Industry
TEP	:Ton eşdeğer petrol
TG	:Termogravimetri
TGA	:Termogravimetrik analiz
cP	: Santi poise
$\mathcal{D}_p$	: Parçacık boyutu
H/C	: Hidrojen-oksijen oranı
kW	: Kilo watt
MCM-41	:Ticari katalizör
O/C	:Oksijen karbon oranı
ppm	:Milyonda bir
ZSM-5	:Ticari zeolit katalizörü
$\alpha$	:Alfa



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1.Giriş

Globalleşen dünyada nüfus ve teknolojik imkânların hızla artması sonucu; enerjinin günlük hayatta kullanımı yaygınlaşmakta ve tüketimi gittikçe artmaktadır (BP,2011). İnsanların ihtiyaçlarının karşılanmasında ve gelişmenin sağlıklı olarak sürdürülebilmesinde gerekli olan enerji, özellikle endüstride, konutların ısıtılmasında ve ulaşımda kullanılmaktadır. Dünyanın nüfusu hızlı bir şekilde arttığından enerji kaynaklarına olan talep de sürekli olarak artmaktadır (ETKB,2011). Bu talepleri karşılamak için mevcut enerji kaynakları yetersizdir ve yeryüzünde var olan fosil kökenli yakıtlar gittikçe azalmaktadır (DEKTMK,2011). 1973'den beri gelişmiş ülkelerde ki enerji tüketimi iki katına çıkmasına rağmen enerji talebi hala oldukça yüksektir. İki binli yıllarda ki dünya enerji talebi yaklaşık olarak % 50 civarında artmış ve daha sonraki yıllarda bu artışın iki ya da üç katına çıkması beklenmektedir. Enerjideki yıllık büyüme hızı yaklaşık % 4 olarak alınacak olursa fosil yakıt rezervlerinin yaklaşık 90 yıllık ömürlerinin kaldığı açıktır (WEC,2010;IEA,2011).Fosil enerji kaynaklarındaki tüketim artışı dikkate alındığında üretim talebin kısa sürede yetersiz kalacaktır. Dolayısıyla hem bu talebin karşılanmasında ve hem de sera gazı emisyonlarının azaltılması ile biyoenerji kısa ve orta vadede önemli seçeneklerden biri haline gelmiştir (Kaygusuz ve Keleş,2009). Şu anda mevcut enerji talebi 120 katrilyon kcal ve sonraki iki yüzyıl için ise yaklaşık olarak % 50 oranında büyümesi beklenmektedir (BP,2011;IEA,2011).Önümüzdeki yüzyılda tükeneceği tahmin edilen petrol, kömür ve gaz gibi fosil kökenli enerji kaynaklarına alternatif olarak düşünülen 1970'lerde kurulmaya başlanan nükleer enerji santral sayısındaki artış hızı yavaşlamaktadır. Bütün bu gelişmeler ve gelecekle ilgili kaygılar, dünyadaki kaynak arayışlarını yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmeye başlamıştır (Hodge,2010).Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük özellikleri, karbondioksit emisyonlarını azaltarak çevrenin korunmasına yardımcı olmaları, yerli kaynaklar oldukları için enerjide dışa bağımlılığın azalmasına ve istihdamın artmasına katkıda bulunmaktadırlar (Ren21,2011;Acaroğlu,2007). Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, gelecekteki enerji üretim ve tüketim düzeylerinin belirlenebilmesi için; nüfus artışı, ekonomik üretkenlik, tüketici alışkanlıkları ve teknolojik gelişmeler gibi dikkate alınması gereken birçok etmen vardır (WEC,2010). Enerji sektörüne ilişkin yönetim biçimleri, gelecekteki enerji üretim ve

tüketim düzeyi ve dağılımında önemli rol oynayacaktır. Dünyada büyük ölçüde yenilenemeyen (fosil) enerji kaynaklarının kullanılıyor olması, çevre sorunlarını önemli ölçüde artırmıştır (Bilgen vd,2008). Bu nedenle çevresel etkileri az olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneliş her bakımdan olumludur.Yenilenebilir enerji kaynağı, “doğanın kendi döngüsü içinde, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı" olarak tanımlanmaktadır. Tanım gereği; geleneksel enerji kaynakları, birer yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmemektedir. Dolayısıyla, dünyanın en azından yakın gelecekteki enerji talebini karşılama konusunda, yenilenebilir enerji kaynaklarının umut verici bir gelişme kaydediyor olması; bu alana yönelik faaliyetlere ve politikalara hız kazandırmaya başlamıştır (REN21,2012). 2008-2030 döneminde, dünya enerji talebindeki ortalama yıllık artışının % 1,6 olacağı tahmin edilmektedir. Bu dönem sonunda, 2030 yılı itibariyle toplam enerji talebi artışının %45'e ulaşması beklenmektedir (IEA, 2011).

1990-2010 döneminde ülkemizde birincil enerji talebi artış hızı yıllık ortalama %4,3 düzeyinde gerçekleşmiştir (ETKB,2011). Türkiye, OECD ülkeleri içerisinde geçtiğimiz son on yıllık dönemde enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülke durumundadır. Ayrıca ülkemiz son yıllarda dünyada elektrik ve doğalgazda Çin'den sonra en fazla talep artışına sahip ikinci büyük ekonomi konumundadır. Ülkemizin 2008 yılında toplam birincil enerji tüketimi 106,3 milyon ton eşdeğer petrol (Mtep), üretimi ise 29,2 Mtep olarak gerçekleşmiştir (ETKB,2012). Enerji arzında %32'lik pay ile doğalgaz ilk sırayı alırken, doğalgazı %29,9 ile petrol, %29,5 ile kömür izlemiş, %8,6'lık bölüm ise hidrolik dahil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Yapılan projeksiyonlara göre birincil enerji tüketimimizin, referans senaryo çerçevesinde, 2020 yılına kadar olan dönemde de yıllık ortalama %4 oranında artması beklenmektedir (ETKB, 2012). Tablo 1' de Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarındaki durumu verilmiştir.

Tablo 1. Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarındaki durumu (ETKB, 2009)

<b>Enerji Kaynağı</b>	<b>Tüketim</b>	<b>Üretim</b>
Taş Kömürü (Bin ton)	11,039	2367
Linyit (Bin ton)	64,883	64,883
Doğal gaz (Milyon m <sup>3</sup> )	16,339	312
Petrol (Bin ton)	29,661	2,551
Hidrolik (GWh)	24,01	24,01
Jeotermal + Rüzgâr (Elektrik) (GWh)	152	152
Jeotermal Isı (Bin TEP)	618	618
Odun (Bin ton)	16,263	16,263
Hayvan ve Bitki Atıkları (Bin ton)	5790	5790
Güneş (Bin TEP)	287	287
<b>Toplam (Bin TEP)</b>	<b>97,044</b>	<b>28,266</b>

## 1.2.Biyokütle

Nüfus ve kentleşmenin hızlı olması nedeniyle enerji ve doğal kaynaklara olan talepler her geçen gün artmaktadır. Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil enerji kaynaklarının rezervleri sürekli olarak tükenirken, çevre dostu, biyokütle, gelecek vaat eden yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilebilir (Basu,2006). Bu fosil yakıtlar yüksek oranda kükürt, azot ve metal ihtiva etmektedirler, bu da atmosfere yüksek oranda SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> salınmasına neden olur ve bu gazlarda atmosferde asit yağmurları oluşmasına neden olmaktadır (Acaroğlu,2007). Ayrıca kömürün ve ham petrolün yanmasıyla atmosfere CO<sub>2</sub> gazı da salınmaktadır ve bu gaz sera etkisi nedeniyle küresel ısınmaya neden olmaktadır (Bridgwater, 2003). Biokütle dünya üzerinde bulunan ve yaşayabilen organik esaslı kaynaklardır (Klass,2007). Bunlar güneş enerjisini depolayabilen maddelerdir. Bitkiler fotosentez ile sürekli bir şekilde biokütle üretmektedirler (Goyal vd.2008). Birçok ülke fosil yakıt tüketimini ve sera gazı salınımını azaltmak için biokütleyi elektrik ve ısı üretiminde önemli kaynak olarak kabul eder (IEA, 2010). Biyokütle her yerde yetiştirilebilmesi, çevre korunmasına katkısı, elektrik üretimi, kimyasal madde ve özellikle taşıtlar için yakıt olabilmesi nedeni ile stratejik bir enerji kaynağı olarak sayılmaktadır. İnsanoğlu tahta veya odunları yakıp yemek pişirmeye veya ısınmaya başladığından beri biyokütle enerjisini yakıt olarak kullanmaktadır (IEA,2007). Biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesinde dikkate alınması

gereken faktörleri sıralarsak; enerjinin ekonomik olarak dönüştürülmesi, yenilenebilir kaynaklara dayalı olması, doğadaki dengeyi bozmaması, su, hava ve çevre kirliliğine yol açmaması olarak sıralanabilir. Dünyada en büyük potansiyele sahip kaynaklardan biri olan biyokütlenin yıllık üretiminin  $220 \times 10^{12}$  ton olduğu tahmin edilmektedir. Biokütlenin kimyasal bileşimi; selüloz, hemiselüloz, lignin, minör bileşenler, ekstraktlar ve inorganik maddelerden oluşmaktadır (Hodge, 2010). Biokütle (ahşap, tarım artıkları, dahil olmak üzere) yaygın olarak kullanılabilir birincil enerji kaynağının yaklaşık % 14 temini sağlayıp, dünyanın dördüncü büyük enerji kaynağıdır ( IEA, 2007). Biokütle enerjisi Türkiye’de kırsal yöreler için önemli bir kaynaktır. Biokütle enerji kaynakları arasında yakacak odun % 21’lik oran ile Türkiye’nin toplam enerji üretiminde önemli bir paya sahiptir. Türkiye'nin yıllık biokütle potansiyeli yaklaşık 32 Mtep eşdeğerindedir (Kaygusuz, 2010). Tablo. 2 Türkiye’nin yıllık biokütle potansiyelini vermektedir.

Tablo 2. 2003 yılında Türkiye’nin yıllık biokütle potansiyeli (Bilgen vd. 2007)

	Yıllık potansiyel (milyon ton)	Enerji değeri (Mtep)
Yıllık bitkiler	50	14,4
Çok yıllık bitkiler	18	4,4
Orman atıkları	20	6,0
Tarım endüstrisi atıkları	14	4,2
Orman endüstrisi atıkları	8	2,0
Hayvan atıkları	10	3,0
Diğer	6	1,4
Toplam	126	35,4

### 1.2.1. Biyokütle Kaynakları

Günümüzde yapılan araştırmalarda, biyoenerjiyi verimli ve temiz enerji kaynağı haline dönüştürmek için yeni teknolojiler bulmaya ve oluşturmaya, mevcut teknolojileri geliştirmeye çalışılmaktadır. Biyokütle ; bitkisel kökenli odunsu yakıtlar, odun türevi yakıtlar, yakıt bitkileri, tarımsal sanayi ve hayvansal yan ürünlerinden oluşur (Rosillo-calle vd, 2007). Biokütle türleri dört temel grupta toplanmaktadır. İlk grubu odunsu bitkiler oluşturmakta olup, odunsu ve otsu (mevsimlik) bitkiler, odun endüstrisi ve ormansal artıklar bu gruba dâhil edilmektedir. Tarımsal biyokütle grubunda ise genel olarak tarım alanlarında

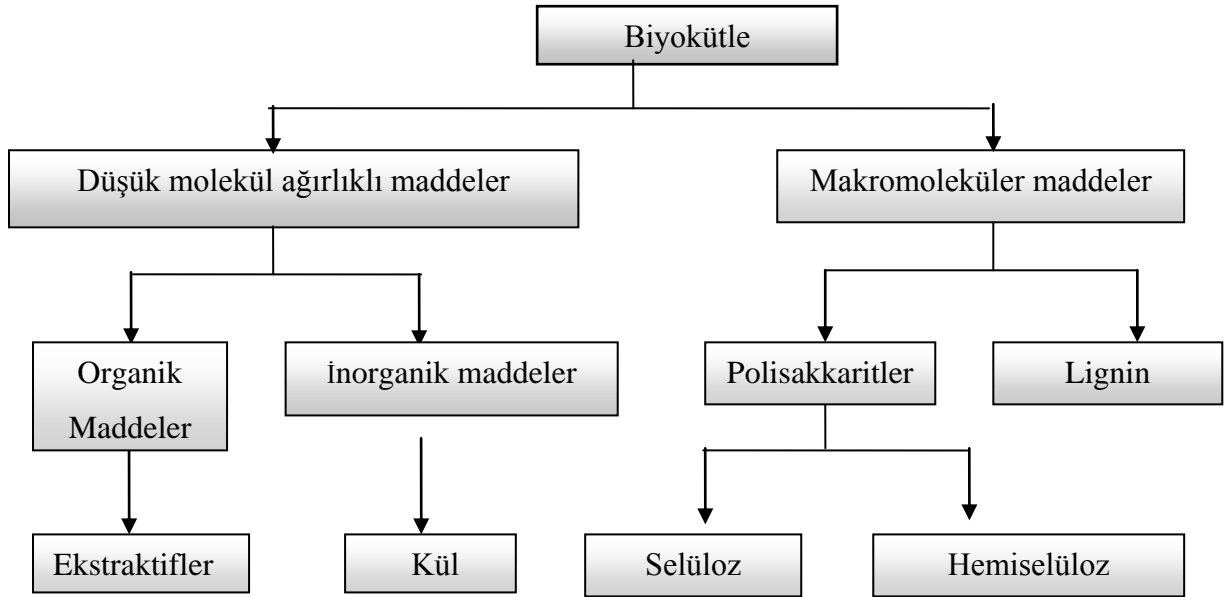
üretilen yağlı tohum bitkileri, şekerli bitkiler (şeker kamışı gibi yüksek nem içerikli), nişastalı bitkiler ve hayvansal atıklar sıralanabilir (Klass,1998). Deniz ve göllerde bulunan deniz otları, yosunlar, saz bitkileri ve bazı mikroorganizmalar ise sulu bioküteller ismi altında incelenirler (Sims,2003). Bu gruptaki bioküteller yüksek nem içeriğine sahip olmasına rağmen büyüme hızlarının iyi olması nedeniyle son yıllarda daha fazla önem kazanmaktadır. Endüstriyel atık kaynaklı bioküteller ise genel olarak gıda ve endüstriyel amaçlar için kullanılan ham madde ve şehirselle atıklardır. Biyokütle ülkelerin enerji ihtiyacını ulusal kaynaklardan karşılandığı ve büyük üretim potansiyeline sahip yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (Acaroğlu,2007).Nitekim dünyada biyokütleden elde edilebilecek yıllık enerji, 1120000 MW'ı samandan, 500000 MW'ı hayvan atıklarından, 1360000 MW'ı orman atıklarından, 2400000 MW'ı çöplerden ve 17700000MW'ı şeker kamışı, odunsu bitkiler gibi enerji tarlalarından olmak üzere yaklaşık toplam 23100000 MW gibi büyük bir potansiyele sahiptir (Kaygusuz, 2009 ve 2010) .Dünya Enerji Konseyi'nin yayınladığı raporu'nda yapılan araştırmalara göre, 2025 yılında dünya genelinde biyokütleden sağlanacak enerji, 1340Mtep ile 3292Mtep arasında bildirilmiştir (WEC, 2007 ve 2010). Yine aynı raporda 2020 yılında yeni ve yenilenebilir kaynaklarla enerji talebinin minimum %3-4'ünün, maksimum % 8-12'sinin karşılanabileceği belirtilmektedir. Dünyada büyük potansiyele sahip kaynaklardan biri olan biyokütlenin yıllık üretiminin 220 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir (WEC, 2010).Biyokütleden enerji üretimi birçok faktöre bağlıdır. Bunlar; bitkilerin toprak ve iklimin uygunluğuna, biyolojik çeşitlilik ve diğer çevresel faktörlerin etkilerine,toprak, su ve enerji kullanımı açısından tarım sistemlerinin verimliliği ile sosyo-ekonomik ve kültürel tercihlere bağlıdır (Basu, 2010). Farklı kullanım alanları olmasına rağmen, biyokütle özellikle az gelişmiş ülkelerde doğrudan yakma yöntemiyle verimsiz bir şekilde tüketilmektedir. Tarım ülkesi olan Türkiye'de de biyokütle verimli bir şekilde kullanılmamaktadır. Türkiye, biyokütle üretimi açısından gerek alan kullanılabilirliği gerekse iklim koşulları uygun olan bir ülkedir (ETKB,2010).

### 1.2.2. Biokütlenin Kimyasal Yapısı ve Bileşenleri

Selüloz, hemiselüloz ve ligninin ağırlık yüzdeleri biokütlenin türüne göre farklılıklar göstermektedir. Bazı biokütle türlerinin lignoselüloz içerikleri Tablo 3'de verilmiştir (Oasmaavd, 2006). Şekil 1'de biyokütlenin temel bileşenleri gösterilmiştir

Tablo 3. Bazı biyokütle türlerinin tipik lignoselüloz içerikleri (Mohan vd. 2006).

Biokütle türü	Lignoselüloz içeriği (%)		
	Hemiselüloz	Selüloz	Lignin
a Bahçe çimleri	40,0	32,0	4,7
Pirinç samanı	27,2	34,0	14,2
Huş odunu	25,7	40,0	15,7

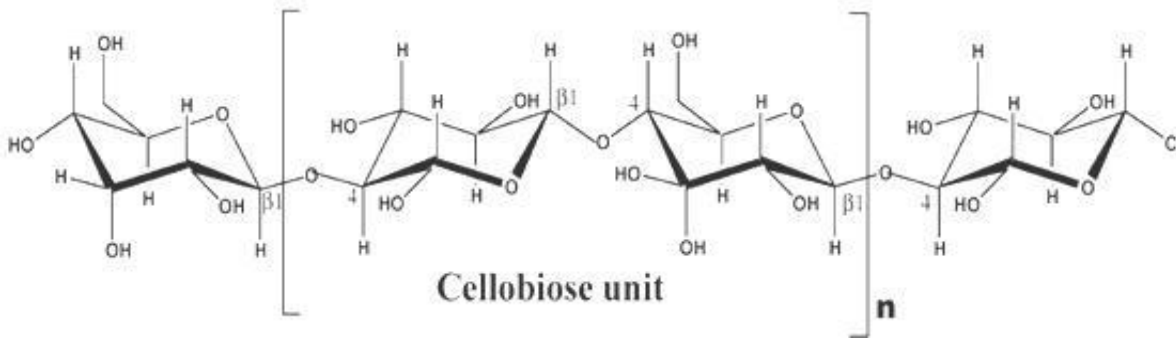


Şekil 1. Biyokütlenin temel bileşenleri (Mohan vd. 2006).

#### 1.2.2.1. Selüloz

Selüloz bir polisakkarittir, molekül formülü  $(C_6H_{10}O_5)_n$  ve ortalama molekül ağırlığı 300000-500000 aralığındadır. Pamuk hemen hemen saf alfa selülozdan oluşurken kâğıt hamuru ve kâğıt endüstrisi için ham madde olarak kullanılan odun selülozu ise yapısında

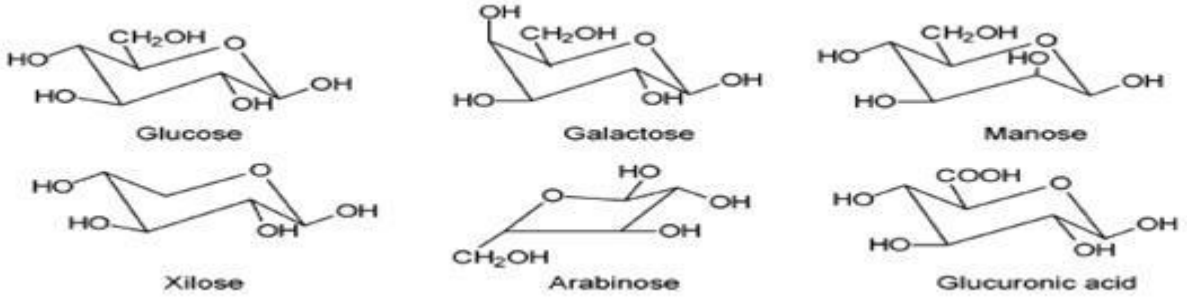
selülozun yanında hemiselüloz ve lignini de içermektedir. Nişasta ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> genel formülüne sahip bir polisakarittir. Selüloz fiberleri oduna dayanıklılık sağlarlar. Kuru odunun ağırlıkça %40–%50'sini oluşturur. Selüloz,  $\beta$ -(1–4)-D- glukopranoz birimlerinin yüksek molekül ağırlıklı ( $10^6$  veya daha çok) lineer bir polimeridir. Şekil 2'de selülozun moleküler yapısı verilmiştir. Her bir glikoz biriminden suyun uzaklaştırılması ile elde edilen anhidro glikoz polimerleşerek selüloz birimlerini oluşturur ve her bir selüloz birimi yaklaşık olarak 5000 ile 10000 arasında anhidroglikoz birimlerinden oluşmaktadır. Selüloz birimlerinin temel tekrarlanan birimleri iki tane anhidroglukoz molekülüdür (Klass,1998;Hadge,2010)



Şekil 2. Selülozun kimyasal yapısı (Mohan vd. 2006)

### 1.2.2.2.Hemiselüloz

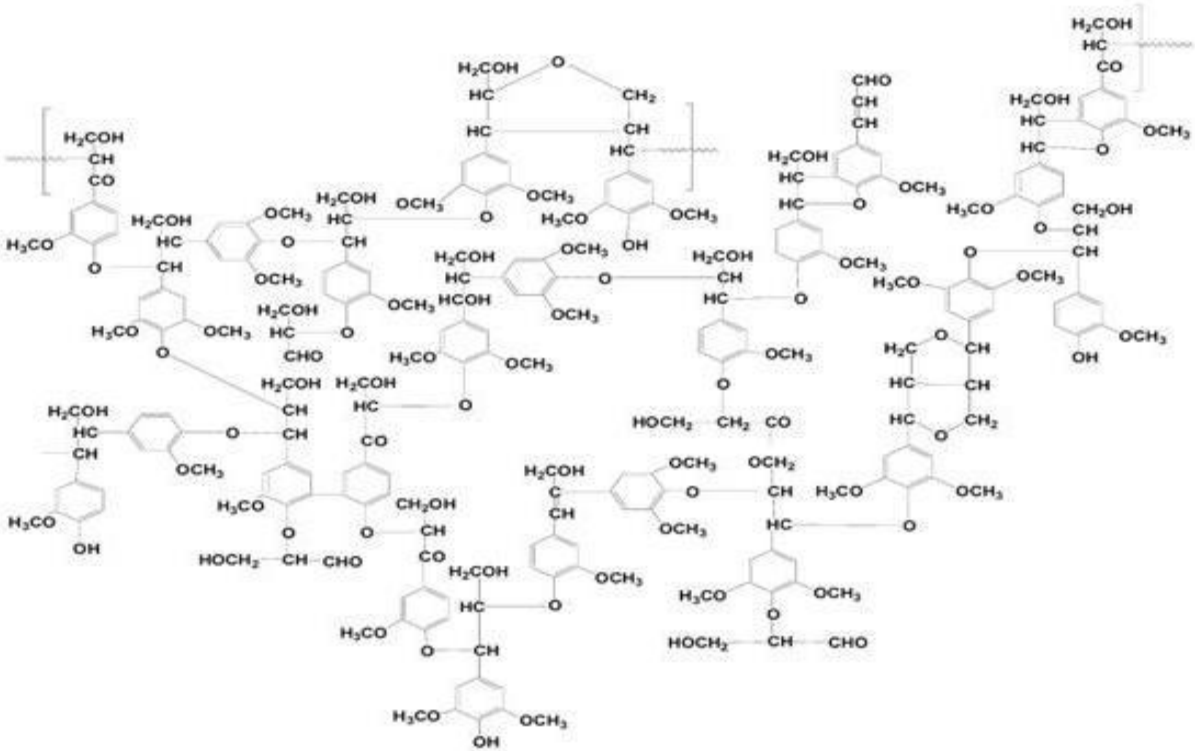
Odunun ikinci esas kimyasal bileşeni polyosolaraktan bilinen hemiselülozdur. Genellikle hemiselüloz kuru odunun kütlece % 25 - % 35'ini oluşturmaktadır (Demirbaş,2000). Bu oran yumuşak odunda % 28 iken sert odunda % 35'lere çıkmaktadır. Hemiselüloz glikoz, mannoz, galaktoz, ksiloz, arabinoz, 4 -o- metil glukuronik asit ve galakturonik asit gibi birkaç tane polimerleşmiş monosakkaritin bir karışımıdır ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Hemiselüloz selülozdan daha düşük molekül ağırlığına sahiptir. Tekrarlanan sakkaritmonomerlerinin sayısı selülozda 5000 ila 10000 arasında değişirken hemiselülozda bu sayı yaklaşık 150 civarındadır. Selüloz, yapısında sadece glikoz moleküllerine sahipken hemiselüloz bir heteropolisakarittir ve ana polimer zincirine sahip bazı kısa yan zincirleri de ihtiva etmektedir yani dallanmış bir yapıya sahiptir (Keleş vd, 2011).



Şekil 3. Hemiselülozu oluşturan monosakkaritler(Mohan vd. 2006).

### 1.2.2.3.Lignin

Odunun üçüncü büyük bileşeni yumuşak odunun % 23 - % 33'ünü oluşturan ve sert odunun % 16 - % 25 ini oluşturan lignindir. Tam yapısı bilinmeyen çapraz bağlı amorf bir reçinedir. Lignin üç boyutlu yüksek oranda dallanmış hidroksil ve metoksisubstitue olmuş fenilpropan birimlerinin düzensiz bağlanmasından oluşan bir yapıdır. Şekil 4'de Avrupa kayınından elde edilen ligninin parça yapısı gözükmemektedir (Mohanvd, 2006).



Şekil 4. Avrupa kayınından ( Fagussylvatica) elde edilen lignin molekülünün parçayapısı. Lignin, fenilpropanoid birimlerinin karmaşık bir şekilde bağlanmasıyla oluşmuştur (Mohan vd. 2006).



#### 1.2.2.4.İnorganik Maddeler

Biokütle az miktarda mineral içermektedir ve bu mineraller piroliz işlemi sonucunda külde kalmaktadır. Tablo 4, odun yongaları içerisindeki minarelerin oranlarını vermektedir.

Tablo 4. Odun yongaları içerisindeki mineral içeriği (Mohan vd. 2006).

Element	Kuru maddedeki oranı
Potasyum	0,1
Sodyum	0,015
Fosfor	0,02
Kalsiyum	0,2
Magnezyum	0,04

#### 1.2.2.5.Organik Ekstaktifler

Beş farklı odun bileşeninin organik ekstaktifler açısından karşılaştırılması literatürde verildi (Yanik vd, 2007). Bunlar polar çözücüler (metilen klorür, su ve alkol) ve apolar çözücüler (tolüen ve hegzan gibi) yardımıyla odundan ekstrakte edildiler. Bu organik ekstaktiflere şu örnekleri verebiliriz; yağlar, balmumları, alkaloidler, proteinler, fenolikler, basit şekerler, pektinler, zamklar, sakızlar, reçineler, terpenler, nişastalar, glikositler ve saponinlerdir. Ekstaktifler enerji kaynağı, mikrop öldürücü ve böcek saldırılarına karşı kullanılmaktadır (Mohan vd.2006; Di Blası, 2008).

#### 1.2.3. Biyokütlenin Enerji Kaynağı Olarak Kullanılması

Biokütle yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelmiştir. Karbon içeren organik maddeler oksijenle reaksiyona girdiklerinde ısı açığa çıkartırlar. Biyosferdeki kuru maddenin biyokütlemsel çevrimi yaklaşık  $250 \times 10^9$  ton/yıl olup bunun karbon miktarı  $100 \times 10^9$  ton/yıl'dır. Enerji içeriği ise  $2 \times 10^{21}$  Jul/yıl (Twidell, 1990). Üretilen toplam biokütlenin ağırlıkça %0,5 'i insan yiyeceğinden sağlanmaktadır. Organik madde ihtiva eden artıkların mikrobiyolojik yönden değerlendirilmesi çevre kirliliğine yol açmaması ve temiz enerji üretimi sağlaması bakımından önem taşımaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde

kullanımı en yaygın olan kaynak biokütledir. Dünya enerji tüketiminin yaklaşık % 15'i, gelişmekte olan ülkelerde ise enerji tüketiminin yaklaşık %43'ü biokütleden sağlanmaktadır (IEA, 2010) Biokütle her yerde yetiştirebilmesi, çevre korunmasına katkısı, elektrik üretimi, kimyasal madde ve özellikle taşıtlar için yakıt olabilmesi nedeni ile stratejik bir enerji kaynağı olarak sayılmaktadır. Biokütle kaynakları arasında yer alan odun, hayvan ve bitki artıkları ülkemizde uzun yıllardan beri (özellikle kırsal kesimdeki konutlarda) alan ısıtma ve yemek pişirme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu geleneksel enerji kaynağı konutlardaki enerji tüketiminin % 40 kadarını oluşturmaktadır (ETKB, 2011 ve 2012).

### **1.3.Biokütleyle Uygulanan Dönüşüm Prosesleri**

Biokütle kaynaklarından katı, sıvı ve gaz yakıt elde etmek için çeşitli dönüşüm yöntemleri uygulanmaktadır. Biokütle termal, biyolojik, mekanik ve fiziksel yöntemlerle enerjiye dönüştürülmektedir (Bridgwater ve Peacocke, 1999). Biokütleyle uygulanan ısı dönüşüm süreçleri piroliz, sıvılaştırma, yanma ve gazlaştırmadır (Bridgwater, 1994).

#### **1.3.1. Direkt Yakma**

Biokütlenin doğrudan yakılarak enerji üretilmesi olarak bilinen en eski yöntemdir. Bu sistemlerde her türlü biokütle kaynağı doğrudan yakılmaktadır. Yakma; biokütle enerjisini ısı, mekanik güç veya elektriğe dönüştürmede kullanılır . Net dönüştürme verimleri % 20-40 arasında değişmektedir . Ancak, nem oranı yükseldikçe elde edilen ısısal değer azalmaktadır (Basu, 2006; Hodge, 2010).

#### **1.3.2. Gazlaştırma**

Karbon içeren biokütle gibi katıların yüksek sıcaklıkta bozulması ile yanabilir gaz elde etme işlemidir. Bu işlem yakıt hücresine verilen hava ile biokütle yakılır ve çıkan ürünler arasında hidrojen, metan gibi yanabilir gazların yanı sıra karbon monoksit, karbondioksit ve azot gibi gazlar da açığa çıkmaktadır. Burada en önemli problem gaz üretmek değildir, üretilen gazın içten yanmalı motorların kullanabileceği şekilde fiziksel ve kimyasal özelliklerini sağlamaktır (Basu, 2010; Hodge, 2010; Kneef, 2005) .

### 1.3.3. Piroliz

Bio kütlenin termo kimyasal dönüşüm yöntemlerinden en verimli ve en ekonomik olanı pirolizdir ve özellikle sıvı hidrokarbon üretiminde en çok kullanılan bir prosesdir (Ateş vd, 2005). Biyokütlenin pirolizi uzun yıllardır kullanılmaktadır ve yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle gelecekte önemli bir potansiyele sahip olacaktır (Antonakou, 2006). Pirolizden sıvı ürünlerin elde edilmesinde sıcaklık, katalizör ve diğer piroliz şartlarının etkisi oldukça büyüktür ( Demirbaş, 2000 ). Biokütlenin pirolizi için yapılan çalışmalar, daha çok kaliteli ürünlerin yüksek verimde elde edilmesi şartlarının geliştirilmesine odaklanmıştır (Bridgewater, 2003). Piroliz esnasında proses şartlarının değiştirilmesi meydana gelecek reaksiyonların yolunu da değiştirmektedir. Bu değişiklik ürün dağılımını da etkilemektedir. Özellikle uygulanan prosesin kinetiği sıcaklık, piroliz reaktöründe kalma zamanı, besleme stokunun bileşimi, partikül boyutu ve ısınma hızına bağlı olarak değişmektedir (Ateş ve Işıkdag, 2009). Son zamanlarda piroliz çalışmalarının önemi giderek artmaktadır. Pirolizleşimi, aynı zamanda gazlaştırma işleminin yada yanmalı sürecin ilk adımıdır ve diğer yenilenebilir enerji kaynakların üzerinde birçok avantajı vardır (Babu, 2008). Piroliz, biokütlenin havasız bir ortamda ısıtılarak sıvı, katı ve gaz ürünlere dönüşümüdür. Pirolizleşimi genellikle sıvı ürün üretmek için kullanılmaktadır. Biyokütlenin oksijensiz ortamda 500-600°C'a kadar yapılan ısıtma işleminde; gaz bileşenleri, uçucu maddeler, mangal kömürü oluşur. Yüksek sıcaklığa çıkıldığında ise gaz bileşenleri ve odun gazı açığa çıkar. Sıvılaştırma, düşük sıcaklıkta (250-400°C), yüksek basınçta (150 bar) katalizör, hidrojen (H<sub>2</sub>) veya karbon monoksit (CO) varlığında gerçekleştirilen ve maksimum sıvı ürünün elde edildiği bir süreçtir. Kullanım alanları daha fazla olan piroliz ve gazlaştırma ile karşılaştırıldığında daha az tercih edilmektedir. Bunun başlıca nedenleri, yüksek basınçta çalışan sistemlerin oldukça pahalı olması, bulamaç halindeki sıvıların yüksek basınçta besleme sorunu ve taşıyıcı sıvı ağırlığının çok büyük olması gibi çözülemeyen teknik problemlerin varlığıdır (Bridgewater ve Peacke, 1999). Kullanılan işletme şartlarına bağlı olarak piroliz prosesleri geleneksel ve hızlı piroliz olarak iki gruba ayrılabilir. Geleneksel piroliz ayrıca yavaş piroliz olarak ta adlandırılmaktadır (Di Blası vd,1999).

### 1.3.3.1.Geleneksel Piroliz

Geleneksel yavaş piroliz binlerce yıldır uygulanan bir yöntemdir ve genellikle kullanım amacı odun kömürü üretmektir. Odunun yavaş pirolizinde biyokütle yaklaşık olarak 500 °C'ye ısıtılır ve buhar alıkonma zamanı 5 ile 30 dak arasında değişmektedir. Hızlı pirolizde olduğu gibi buhar hızlı bir şekilde ortamdan uzaklaşmaz, böylece buhar fazındaki bileşenler tamamen odun kömürü olana kadar veya ortamda oluşacak herhangi bir sıvı ürün kalmayana kadar birbirleriyle reaksiyona girmeye devam ederler. Geleneksel pirolizde ki kullanılan bu ısıtma hızı, hızlı pirolizde olandan daha yavaştır. Biokütle ya yavaş olarak ısıtılır ya da sabit bir sıcaklıkta tutulur. Biokütle tamamen odun kömürüne dönüşene kadar buharın ortamdan uzaklaştırılmasına izin verilir. Yavaş ve hızlı ısıtma hızında vakum piroliz ayrı bir değişkendir. Yavaş ısıtma hızı ve hızlı ısıtma hızları çoğu açıdan keyfidir (Gürsel ve Putin 2002).

### 1.3.3.2.Hızlı Piroliz

Hızlı piroliz biyokütleyle ısıl ayrışma prosesi olup orta sıcaklıklarda yüksek ısı transfer hızıyla ve sıcak buharın reaksiyon bölgesinde kısa kalma süresi ile ayırma işlemi sağlar (Shen vd, 2009). Buhar ve aerosollerin soğutulup yoğunlaştırılmasından sonra ısı değeri yaklaşık olarak fuel-oil'in ısı değerinin yarısına eşit olan koyu kahverenginde bir sıvı oluşur (Wang vd, 2007). Hızlı piroliz prosesinde kullanılan biyokütle türüne bağlı olarak ağırlıkça % 60 - % 75 oranında sıvı ürün, % 25 oranında odun kömürü ve % 10 - % 20 arasında gaz ürünler elde edilmektedir (Onay, 2007). Atık üretilmez, çünkü biyoyakıt ve odun kömürü kullanılabilir ve gaz ürünler ise prosese yeniden gönderilebilir. Hızlı piroliz de geleneksel pirolize göre çok daha hızlı ısıtma yapılır. Piroliz prosesleri daha yüksek sıvı ürün verebilmek için dikkatli bir şekilde kontrol edilmektedir. Hızlı bir piroliz prosesinde kontrol edilmesi gereken dört farklı özellik vardır. İlk olarak çok yüksek ısıtma ve ısı transfer hızları kullanılır, ikincisi iyi bir şekilde kontrol edilen piroliz sıcaklığı bu sıcaklık genellikle 425 – 500 °C'dir. Üçüncü olarak; kısa buhar alıkonma zamanı iki saniyeden daha düşüktür ve piroliz buharları ve aerosoller bio-oili oluşturmak için hızlı bir şekilde soğutulmalıdır. Hızlı ısıtma ve soğutma piroliz sıvı ürünlerini oluşturur. Aksi takdir de bunlar yapılmazsa, uzun süre ısıyla muamele olan sıvı buharları içerisindeki yüksek molekül ağırlıklı türlerin parçalanarak gaz ürünlere

dönüşmesine neden olmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklardaki hızlı piroliz işleminde ana ürün gaz olmaktadır (Tsai vd. 2007; Yanik vd. 2007; Uzun vd, 2006 ve 2007).

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Biyokütle örneği olarak incelenmek üzere sarmaşık ağacı seçildi. Bu biokütleörneğine ısıl dönüşüm proseslerinden hızlı piroliz işlemi uygulandı. İlk olarak hammadde 1 mm delik çapına sahip olan değirmende öğütüldü ve elde edilen biokütle örneği elek yardımıyla dört farklı parçacık boyutuna ayrıldı. Sonraki işlem olarak öğütülmüş sarmaşık ağacı  $2,00 < D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutundaki kısmı seçilerek kısa analiz tayinleri (nem, sabit C miktarı, uçucu madde miktarı, kül) ve bileşen tayinleri (selüloz, hemiselüloz, holoselüloz, lignin, organik ekstraksif) yapıldı. Bu ön analiz işlemlerinin yanında numunenin elementel analizi yapılarak karbon, hidrojen, oksijen ve azot içerikleri ile enerji değeri, H/C ve O/C oranları belirlendi. Değirmende öğütülmüş sarmaşık ağacı ile laboratuvarımızda tasarlanan sabit yataklı bir reaktör içerisinde hızlı piroliz deneyleri gerçekleştirildi. Hızlı piroliz deneylerinde elde edilen sıvı, katı ve gaz ürün miktarları üzerine piroliz sıcaklığı, sürükleyici gaz akış hızı ve parçacık boyutunun etkisi incelendi.

### 2.1. Kullanılan Hammadde ve Hazırlanması

Deneysel çalışmada kullanılan sarmaşık ağacı Trabzon yöresinden toplandı. Toplanan sarmaşık ağacı örnekleri KTÜ Orman Endüstri Mühendisliği Kâğıt Hamuru Hazırlama Laboratuvarında değirmende öğütülerek 2,0 mm den küçük parçacık boyutu halinde ayrıldı. Elek yardımıyla  $1,00 < D_p < 2,00$  mm,  $0,850 < D_p < 1,00$  mm,  $0,425 < D_p < 0,850$  mm,  $D_p \leq 0,425$  mm olmak üzere dört farklı parçacık boyutuna ayrılarak kullanılmak üzere laboratuvar ortamında depolandı.

## 2.2. Hammaddeye Uygulanan Kısa Analiz Tayinleri

### 2.2.1. Nem Miktarı Tayini

Nem miktarı tayini, ASTM D 2016-74'den faydalanılarak yapılmıştır. Öğütülerek hazırlanmış olan sarmaşık örneği bir saat camı üzerine %0,2 duyarlılıkta 5 g alınarak,  $103 \pm 2$  °C'ye ayarlanmış etüvde bekletildi. Desikatörde soğutularak tartılıdır. İki tartım arasındaki fark eşitleninceye kadar iki saat daha bu sıcaklıkta tutulup işlem tekrarlandı. Nem miktarı örneğin ağırlığından faydalanarak aşağıdaki eşitlikten hesaplandı.

$$\text{Nem(\%)}: [(g_1 - g_2) / g_1] \times 100 \quad (1)$$

Burada;  $g_1$ : örneğin başlangıç ağırlığı (g),  $g_2$ : Örneğin etüvde kurutulduktan sonraki ağırlığı(g)

### 2.2.2. Kül Miktarı Tayini

Kül oranının belirlenmesinde,  $575 \pm 25$  °C sıcaklıktaki fırında yakma metodunun uygulandığı TAPPI T 211 om-93 standart yöntemine göre deneyler yapıldı ve sonuçlar tam kuru biokütle ağırlığına oranla % olarak verildi.

### 2.2.3. Uçucu Madde Miktarı Tayini

Uçucu madde miktarı tayini ASTM E 987-82'den faydalanılarak yapıldı. Bunun için sabit tartıma getirilmiş kroze içine, havada kurutulmuş örnekten 0,1 mg duyarlılıkta yaklaşık 1 g tartıldı ve kroze kapağı ile örtülerek  $950 \pm 20$  °C'deki fırına konuldu. Burada örneğin yanmamasına dikkat edilmelidir. Kroze fırında tam olarak 7 dakika bekletildikten sonra fırından çıkartılarak desikatörde bekletilerek soğutuldu ve tartıldı. Örnekteki uçucu madde miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplandı;

$$\text{Uçucu madde miktarı(\%)} = [(g_1 - g_2) / g_1] \times 100 - M \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

$g_1$ : Kullanılan örneğin ağırlığı (g)

$g_2$ : Örneğin ısıtmadan sonraki ağırlığı (g)

M: Kullanılan örneğin nem miktarı (g)

#### 2.2.4. Sabit Karbon Tayini

Örneğin uçucu madde, nem ve kül miktarları belirlendikten sonra sabit karbon yüzdesi aşağıdaki eşitlikten hesaplandı;

$$\% \text{ Sabit karbon} = 100 - (\text{nem} + \text{kül} + \text{uçucu madde}) \quad (3)$$

### 2.3. Hammaddeye Uygulanan Bileşim Analizleri

#### 2.3.1. Organik Ekstraktif Miktarı Tayini ( Alkol- Benzende Çözünürlük)

Alkol-benzen karışımında çözünen madde miktarları, TAPPI T 204cm-97 standardına göre 2/1 oranında benzen alkol karışımı (33 hacim %95'lik etil alkol, 67 hacim benzen) ile örnek dört saat ekstarkte edilerek belirlenmiştir. Karışımda çözünen kısım, tam kuru ağırlığa oranla % olarak hesaplanmıştır.

#### 2.3.2. Holoselüloz Miktarı Tayini

Holoselüloz oranının belirlenmesinde wise ve arkadaşları tarafından geliştirilen klorit yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem klor uygulanmasının yanı sıra, klorklama ve  $\text{ClO}_2$  yöntemine oranla, ligninle birlikte uzaklaştırılan karbonhidrat oranının daha az olması nedeniyle tercih edilmektedir. Kullanılan bu yöntemle, holoselülozun %2-4 oranında kaybı olmadan ligninin tümünü uzaklaştırmak mümkün olmamaktadır.

Klorit yönteminde holoselüloz miktarını belirlemek için 5 g hava kurusu örnek, 160 mL su, 1,5 g  $\text{NaClO}_2$  ve 10 damla (0,5 ml) asetik asitle birlikte 250 ml'lik bir elenmeyerek konularak bir termostat yardımıyla sıcaklığı 78 °C'ye ayarlanan su banyosunda bir saat süreyle muamele edilmiştir. İçine örnek koyulan erilenin ağzı, ters çevrilmiş 50 ml'lik bir erlenle kapatıldı.

Reaksiyon süresince erlen zaman zaman çalkalanarak karıştırıldı ve bir saat sonra karışıma 1,5 g  $\text{NaClO}_2$  ve 10 damla buzlu asetik asit ilave edildi. Bu işlem dört kez tekrar edildi. İşlem sonrasında süspansiyon bir buz banyosunda soğutulularak krozedden süzüldü. Kalıntı önce asetonla ve daha sonra soğuk su ile yıkanarak  $105 \pm 3$  °C'de kurutuldu.



Burada, asetik asit ortamın pH'sını 4 dolayında tutmakta ve reaksiyon sonucunda  $\text{ClO}_2$  çıkmasını sağlamaktadır. Çıkan  $\text{ClO}_2$  lignini oksitleyerek, klorolignin halinde çözünmesini ve karbonhidratlardan ayrılmasını sağlamaktadır (Huş vd. 1975).

### 2.3.3. Selüloz Miktarı Tayini

Selüloz oranının belirlenmesinde Kurscher ve Hoffner'in "Nitrik asit" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, alkol-benzen ekstraksiyonuna uğratılmış yaklaşık 2 g örnek bir balona koyularak üzerine 10 ml  $40^\circ$  Be'lik  $\text{HNO}_3$  ile 40 ml % 96'lık etil alkol karışımı ilave edilmiş ve soğutucu altında bir saat süreyle su banyosunda kaynatılmıştır. Bu süre sonunda balondaki sıvı, kroze yardımıyla süzölmüş ve 10 ml  $\text{HNO}_3$  ile 40 ml etil alkolden oluşan 50 ml'lik yeni karışım kroze üzerindeki deney örnekleri ile birlikte tekrar balona koyularak bir saat süreyle kaynatılmıştır. Bu işlem 3 defa tekrarlanmıştır.

Süzme yapıldıktan sonra kroze de kalan deney örnekleri sıcak su ile yıkanmış ve  $105 \pm 3^\circ \text{C}$ 'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutularak tartılmıştır. Sonuç tam kuru ağırlığa oranla yüzde olarak hesaplanmıştır (Huş vd., 1975; Boran, 2003).

### 2.3.4. Hemiselüloz Miktarı Tayini

Hemiselüloz miktarı, holoselüloz miktarından selüloz miktarını çıkararak bulundu. Holoselüloz selüloz ve hemiselülozdan oluştuğu için holoselüloz miktarından selüloz miktarını çıkararak hemiselüloz miktarı belirlendi (Boran, 2003).

### 2.3.5. Lignin Miktarı Tayini

Biokütlede hücre çeperinin önemli bileşenlerinden biri olan lignin, bitkinin lifsel olmayan amorf yapıdaki hidrofobik bir bileşiği olduğundan, lifler arasındaki hidrojen bağlarının oluşumunu olumsuz yönde etkilemektedir (Boran, 2003).

Bitkisel maddelerdeki lignin oranının tayin edilmesinde en çok "Klason lignini" yöntemi kullanılır. Belirlenmiş koşullarda konsantre sülfürik asit karbonhidratları hidrolizleyerek çözer ve aside dayanıklı olan lignin kalıntısı olarak elde edilir (Casey, 1961).

Lignin oranı, %72'lik sülfürik asidin kullanıldığı TAPPI T 222 om-02 standart yöntemine göre belirlendi. Bu yöntemde; ekstrakte edilmiş yaklaşık 1 g hava kurusu örnek bir behere koyularak üzerine 12- 15 °C sıcaklıkta %72'lik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ilave edilip 2 saat bekletildi. Bu süre sonunda beherdeki madde bir litrelik erlene konularak asit konsantrasyonu %3 olacak şekilde sıvı miktarı 560 ml'ye kadar destile su ile seyreltildi. Karışım soğutucu altında dört saat süre ile kaynatıldı ve sonuç, ağırlığının yüzdesi olarak belirlendi.

#### **2.4. Hammaddenin Elementel Analizi**

Hammaddenin içerdiği karbon, oksijen, hidrojen ve azot içeriklerini belirlemek amacıyla uygulanan elementel analiz, bölümümüz laboratuvarlarında bulunan CostechElementalCombustionSystem CHNS-O cihazında gerçekleştirildi. Bu analiz için hammadde özel bir kapsüle yerleştirildi ve miktarı mg mertebesinde hassas olarak ölçüldü. Analiz sırasında hammaddenin bulunduğu kapsül, yanma reaktörü içerisine otomatik olarak aktarıldı ve oksijen ile 1700–1800 °C sıcaklıkta yakıldı ve elementlerin oranına göre elementel pikler oluşturularak fındık kupulasının bileşimindeki C, H, N ve O yüzdeleri belirlendi.

#### **2.5. Hammaddenin Isıl Değerinin Belirlenmesi**

Hammaddenin ısı değeri bölümümüz laboratuvarlarında bulunan CostechElementalCombustionSystem CHNS-O cihazında belirlenen azot, karbon, hidrojen ve oksijen miktarları kullanılarak Dulong formülü yardımıyla hesaplandı.

$$\text{Kalorifik değer (kJ/g)} = 341C + 1323H + 68S - 15:3A - 120(O + N) \quad (4)$$

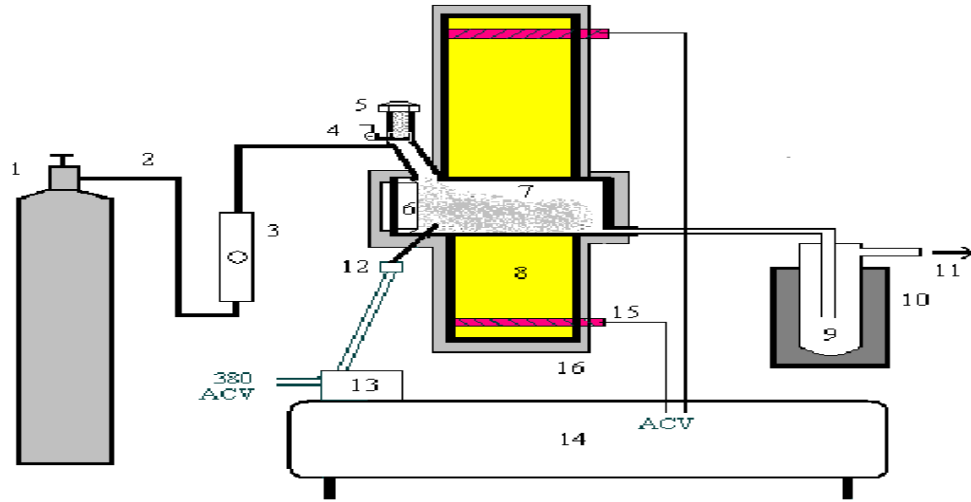
Burada C: karbon, H: hidrojen, O: oksijen, A: kül, S: kükürt ve N: azotu ifade etmektedir.

## 2.6. Hammaddenin Pirolizi

Piroliz deneyleri için kullandığımız reaktör Şekil 1-3'de verilmiş olup 90 cm<sup>3</sup> hacminde 316 paslanmaz krom-nikel sabit yataklı ve etrafında bunu saran 316 paslanmaz krom-nikel endiktüf bir reaktör kullanıldı. Deneyde reaktör sıcaklığının kontrolü amacıyla reaktöre PT 100 sıcaklık ölçer monte edildi. Yerleştirilen sıcaklık ölçen bir güç kaynağı ve reaktöreakım verilmiş olup reaktörün göstermiş olduğu direnç yardımıyla bizde istediğimiz deney sıcaklığına ulaştığımızdır. Bura istenilen değer sıcaklık elektronik kontrol ünitesi yardımıyla kontrol edildi. Kullanılan sisteminde bağlantılar kelepçe ve sıvı contalarla ile desteklenmiştir.

Soğutma sistemi piroliz buharlarını yoğunlaştırmak üzere camdan yapılmış olup sıvı azot ihtiva eden bir banyo içerisine yerleştirildi.

Deneylerini gerçekleştirmek için öncelikle piroliz sistemi kontrollü bir şekilde istenilen sıcaklığa ulaşması sağlandı. Daha sonra öğütülerek istenilen parçacık boyutlarına göre ayrılan hava kurusu sarmaşık ağacı örneklerinden ayrı ayrı hassas terazi kullanılarak 2,00 ±0,01 g numune doldurma vanası yardımıyla reaktörün numune bekleme kısmına doldurularak vana kapatıldı. Sürükleyici gazımız azot gazı akış metre yardımıyla debisi ayarlanarak reaktör içerisine gönderildi. İstenilen deney sıcaklığına gelmiş olan reaktör içerisinden azot gazı geçirilerek reaktör ortamının tamamen inert olması sağlandıktan sonra vana açılarak numune reaktörün içerisine gönderildi ve vanatekrar kapatıldı. Piroliz deneyleri süresince 40dak reaktör sıcaklığı sabit tutularak, hiçbir gaz çıkışı gözlenmeyene kadar sürdürüldü. İşlem sırasında oluşan buharlar reaktörden sıvı toplama ünitesinde sıvılaştırıldı. Diğer sıvılaşmayan kısım ise tahliye hortumu ile atmosfere gönderildi. Sıvı toplama kabında birikmiş olan piroliz sıvısı sıvı azot banyosundan alınıp oda sıcaklığına gelmesi beklendi. Daha sonra elde edilen sıvı ürün tartıldı. Reaktörde kalan katı ürün alınarak miktarı belirlendi. Elde edilen katı ve sıvı ürün miktarları toplamı başlangıçtaki ürün miktarından çıkartılıp gaz ürün miktarlarında belirlenmiş oldu.



- |                                    |                           |   |
|------------------------------------|---------------------------|---|
| 1. Azot tüpü                       | 7. Piroliz ünitesi        | 13. Reaktör sıcaklık elektronik kontrol ünitesi       |
| 2. Azot akış hattı                 | 8. Endüktif reaktör       | 14. Güç kaynağı                                       |
| 3. Akış metre                      | 9. Sıvı ürün toplama kabı | 15. Reaktör elektrik giriş ve çıkışı bağlantı aparatı |
| 4. Reaktöre numune transfer vanası | 10. Soğutma ünitesi       | 16. İzolasyon   |
| 5. Numune doldurma vanası          | 11. Gaz çıkışı            |   |
| 6. Katı ürün alma kapağı           | 12. PT100 sıcaklık ölçer  |   |

Şekil 5. Hızlı piroliz deney düzeneği şeması

Deneyler için sarmaşık ağacı  $2,00 < D_p < 1$  mm,  $1 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutuna ayrıldı. Sürükleyici gaz akış hızı olarak 100, 200, 300 ve 400  $\text{cm}^3/\text{dak}$  seçildi ve piroliz sıcaklığı olarak da 400, 500, 600 ve 700 °C sıcaklıklar seçildi.

İlk grup piroliz deneylerinde ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi araştırıldı. Bunun için 2 g hammadde reaktöre yerleştirildi ve ilk olarak 400, 500, 600 ve 700 °C'de  $2,00\text{mm} < D_p \leq 0,425\text{mm}$  parçacık boyutu için ayrı ayrı 100, 200, 300 ve 400  $\text{cm}^3/\text{dak}$  sürükleyici gaz akış hızları için deneyler gerçekleştirildi. Sıvı, katı ve gaz ürün verimleri ile piroliz dönüşümü belirlendi.

Diğer grup deneylerde ise ürün verimi üzerine sürükleyici gaz akış hızının etkisi araştırıldı. Bunun için 100, 200, 300 ve 400  $\text{cm}^3/\text{dak}$  olmak üzere 4 farklı sürükleyici gaz akış hızında ve ayrı ayrı 400, 500, 600 ve 700 °C piroliz sıcaklıklarında deneyler yapıldı. Bu deneylerde parçacık boyutu,  $2,00\text{mm} < D_p \leq 0,425$  mm olarak seçildi.

Üçüncü grup deneylerde ise ürün verimi üzerine parçacık boyutunun etkisi araştırıldı. 200 cm<sup>3</sup>/dak sürükleyici gaz akış hızında 400, 500, 600 ve 700 °C piroliz sıcaklıklarında ve  $2,00 < D_p < 1\text{mm}$ ,  $1\text{mm} < D_p < 0,850\text{ mm}$ , ve  $D_p \leq 0,425\text{ mm}$  olmak üzere dört farklı parçacık boyutunda ürün dağılımları araştırıldı.



Şekil 6. Hızlı piroliz deney düzeneğini resmi



Şekil 7. Hızlı piroliz deney düzeneği reaktör resmi

### 3.BULGULAR

#### 3.1 Kullanılan Hammaddenin Özellikleri

Sarmaşık ağacından elde edilen ham örnek üzerine gerçekleştirilen nem, kül, uçucu madde miktarı ve sabit karbon yüzdesi Tablo 5 'de. Hemiselüloz, selüloz, holoselüloz, lignin, organik ektrat değerleri Tablo 6'de ve elementel analiz sonuçları ise Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 5. Sarmaşık ağacının kısa analiz sonuçları

Kısa Analiz (Ağırlıkça%)	Sarmaşık ağacı
Nem	8,87
Kül	0,57
Uçucu Madde	84,45
Sabit Karbon*	6,11

Tablo 6. Sarmaşık ağacının bileşen sonuçları

Bileşen (Ağırlıkça %)	Sarmaşık ağacı
Selüloz	23,12
Holoselüloz	58,98
Hemiselüloz	35,86
Lignin	18,90
Organik Ektrat	12,68

Tablo 7. Sarmaşık ağacının elementel analiz sonuçları

Bileşen	Sarmaşık ağacı
Karbon	45,63
Hidrojen	5,86
Azot	0,80
Oksijen	47,71
H/C oranı	1,54
O/C oranı	0,78
Isıl Değer (MJ/Kg)	17,48

### 3.2 Piroliz Sonuçları

Deneysel çalışmalar 200,°C/dak ısıtma hızında 400, 500, 600 ve 700 °C piroliz sıcaklıklarında,  $2,00 < D_p < 1$  mm,  $1 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutlarında ve 100, 200, 300 ve 400 cm<sup>3</sup>/dak sürükleyici gaz akış hızlarında sarmaşık ağacı üzerine ürün verimlerinin değişimi incelenmiştir.

Tablo 8. Sarmaşık ağacı 2,00-1,00 mm parçacık boyutu ve 400°C'deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 400 °C		Parçacık boyutu: 2-1 mm		
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü (%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)
100	57,41	35,56	42,59	21,85
200	58,9	30,87	41,1	28,03
300	61,42	32,07	38,58	29,35
400	61,87	31,02	38,13	30,85

Tablo 9. Sarmaşık ağacı 1,00-0.850 mm parçacık boyutu ve 400°Cdeki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 400 °C		Parçacık boyutu: 1,00-0.850mm		
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü (%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)
100	61,27	31,63	38,73	29,64
200	63,02	32,72	36,98	30,3
300	63,63	31,42	36,37	32,21
400	61,81	30,52	38,19	31,29

Tablo 10. Sarmaşık ağacı 0,850-0,425 mm parçacık boyutu ve 400°C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 400 °C		Parçacık boyutu: 0.85-0.425mm		
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü(%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gazürün (%)
100	64,69	32,8	35,31	31,89
200	66,23	36,75	33,77	29,48
300	65,88	38,3	34,12	27,58
400	63,61	34,7	36,39	28,91

Tablo 11. Sarmaşık ağacı <0,425 mm parçacık boyutu ve 400°C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuç

Piroliz sıcaklığı: 500 °C		Parçacık boyutu: 2,00-1,000 mm		
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü (%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)
100	72,56	41,76	27,44	30,8
200	74,1	46,7	25,9	27,4
300	75,8	45,5	24,1	30,4
400	73,9	43,1	26,1	30,8

Tablo 12. Sarmaşık ağacı 1,00-2,00 mm parçacık boyutu ve 500 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçlar

Piroliz sıcaklığı: 400 °C		Parçacık boyutu: <0.425 mm		
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü (%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)
100	64,1	32,3	35,9	31,8
200	64,1	33,3	35,9	30,8
300	61,81	33,8	38,19	28,01
400	62,4	35,2	37,6	27,2



Tablo 13. Sarmaşık ağacı 1,00-0,850 mm parçacık boyutu ve 500 deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 500 °C		Parçacık boyutu: 1,00-0,850 mm			
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü (%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)	
100	73	39,4	27	33,6	
200	74,2	41,7	25,8	32,5	
300	74,9	42,5	25,1	32,4	
400	76,4	44,3	23,6	32,1	

Tablo 14. Sarmaşık ağacı 0,850-0,425 mm parçacık boyutu ve 500 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 500 °C		Parçacık boyutu: 0,850-0,425 mm			
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü (%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)	
100	73	37	27	36	
200	72,8	37,8	27,2	35	
300	73,8	36,8	26,2	37	
400	63,5	35,9	26,5	37,6	

Tablo 15. Sarmaşık ağacı <0,425 mm parçacık boyutu ve 500 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 500 °C		Parçacık boyutu <0,425mm			
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü (%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)	
100	75,3	34,6	24,7	40,7	
200	77	35,7	23	41,3	
300	76,8	36,5	23,2	40,3	
400	76	36,1	24	39,9	

Tablo 16. Sarmaşık ağacı 1,00-2,00 mm parçacık boyutu ve 600 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 600 °C		Parçacık boyutu: 2,00-1,00 mm		
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü(%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)
100	79	39,4	21	39,6
200	77,9	42,3	22,1	35,6
300	79,3	42,4	20,5	37,1
400	80,3	42,9	19,7	37,4

Tablo 17. Sarmaşık ağacı 1,00-0,850mm parçacık boyutu ve 600 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 600 °C		Parçacık boyutu: 1,00- 0,850 mm		
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü (%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)
100	78,2	39,4	21,8	38,8
200	82	43,1	18	38,9
300	82,3	43,3	17,7	39
400	82	42,9	18	39,1

Tablo18. Sarmaşık ağacı 0,850-0,425mm parçacık boyutu ve 600 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 600 °C		Parçacık boyutu: 1,00- 0,850 mm		
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü (%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)
100	78,2	39,4	21,8	38,8
200	82	43,1	18	38,9
300	82,3	43,3	17,7	39
400	82	42,9	18	39,1

Tablo 19. Sarmaşık ağacı <0,425 mm parçacık boyutu ve 600 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 600 °C		Parçacık boyutu: <0,425 mm		
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü (%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)
100	79,9	34,6	20,1	45,3
200	82	35,7	18	46,3
300	77,03	34,78	20,05	45,25
400	79,82	33,72	20,18	46,1

Tablo 20. Sarmaşık ağacı 1,00-2,00 mm parçacık boyutu ve 700 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 700 °C		Parçacık boyutu: 2,00- 1,00 mm		
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü (%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)
100	80,8	33,2	19,20	47,60
200	79,7	31,8	19,30	48,90
300	79,3	30,1	20,70	49,20
400	77,7	28,8	22,30	48,90

Tablo 21. Sarmaşık ağacı 1,00-0,850 mm parçacık boyutu ve 700 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçlar

Piroliz sıcaklığı: 700 °C		Parçacık boyutu: 1- 0,850mm		
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü (%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)
100	78,00	31,50	22,00	46,50
200	77,10	32,90	22,90	44,20
300	78,90	30,40	21,10	48,50
400	79,70	29,40	20,30	50,30

Tablo 22. Sarmaşık ağacı 0,850-0,425 mm parçacık boyutu ve 700 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçlar

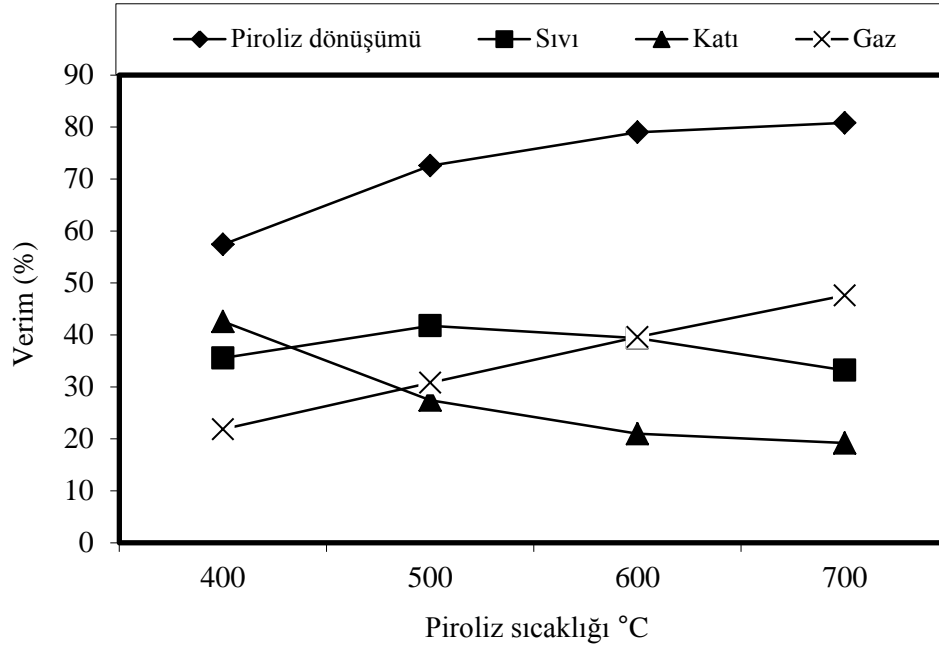
Piroliz sıcaklığı: 700 °C		Parçacık boyutu: 0,850-0,425 mm		
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü (%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)
100	78,70	30,60	21,30	48,10
200	77,80	28,60	22,20	49,20
300	77,10	27,30	22,90	49,80
400	78,40	26,90	21,60	51,50

Tablo 23. Sarmaşık ağacı ≤ 0,425 mm parçacık boyutu ve 700 °C deki pirolizinden elde edilen deneysel sonuçları

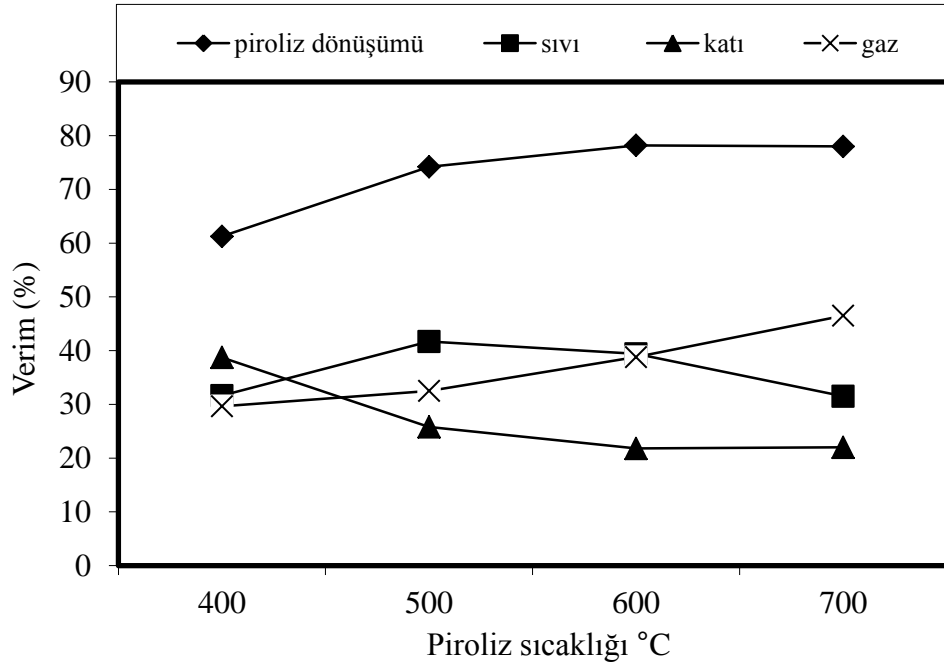
Piroliz sıcaklığı: 700 °C		Parçacık boyutu: ≤ 0,425mm		
Azot akış hızı cm <sup>3</sup> /dak	Piroliz dönüşümü (%)	Sıvı ürün (%)	Katı ürün (%)	Gaz ürün (%)
100	79,60	27,80	20,40	51,80
200	79,30	26,80	20,70	52,50
300	79,90	27,20	20,10	52,70
400	80,60	27,50	19,40	53,10

### 3.2.1 Piroliz Ürün Verimleri Üzerine Sıcaklığın Etkisi

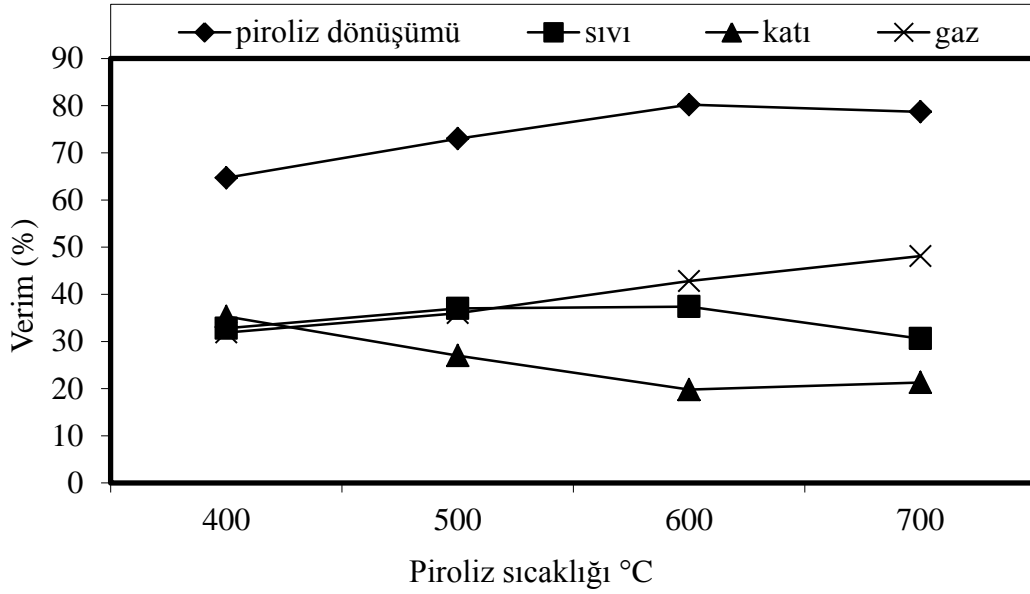
Biyokütlenin pirolizinde, ürün verimini etkileyen en önemli parametrelerden biri piroliz sıcaklığıdır. Biokütlenin pirolizi, kullanılan tekniğe bağlı olarak yaklaşık 400 °C’de başlar ve 700 °C’ye kadar devam eder. Bu çalışmada yapılan deneylerde dört farklı piroliz sıcaklığı kullanıldı. Dört farklı parçacık boyutunda piroliz ürün verimi üzerine sıcaklığın etkisi aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



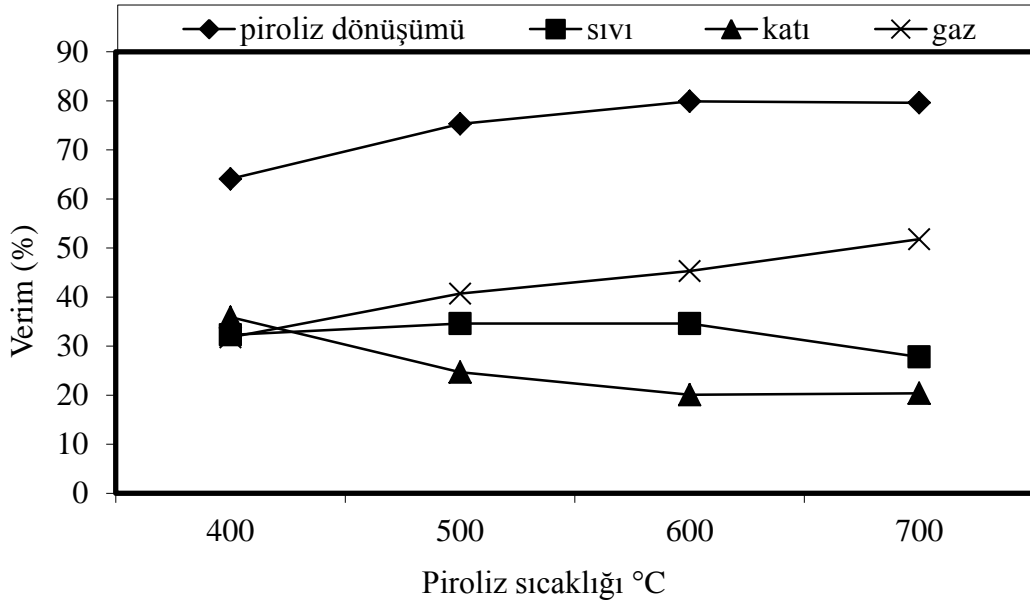
Şekil 8. Sarmasıık ağacının pirolizi için 1,00-2,00 mm parçacık boyutu ve 100 cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında piroliz ürün verimi üzerine sıcaklığın etkisi.



Şekil 9. Sarmasıık ağacının pirolizi için 1,00-0,850 mm parçacık boyutu ve 100 cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında ürün verimi üzerine sıcaklığın etkisi



Şekil 10. Sarmışık ağacının pirolizi için 0,850-0,425 mm parçacık boyutu ve 100 cm<sup>3</sup>/dak azotakış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi



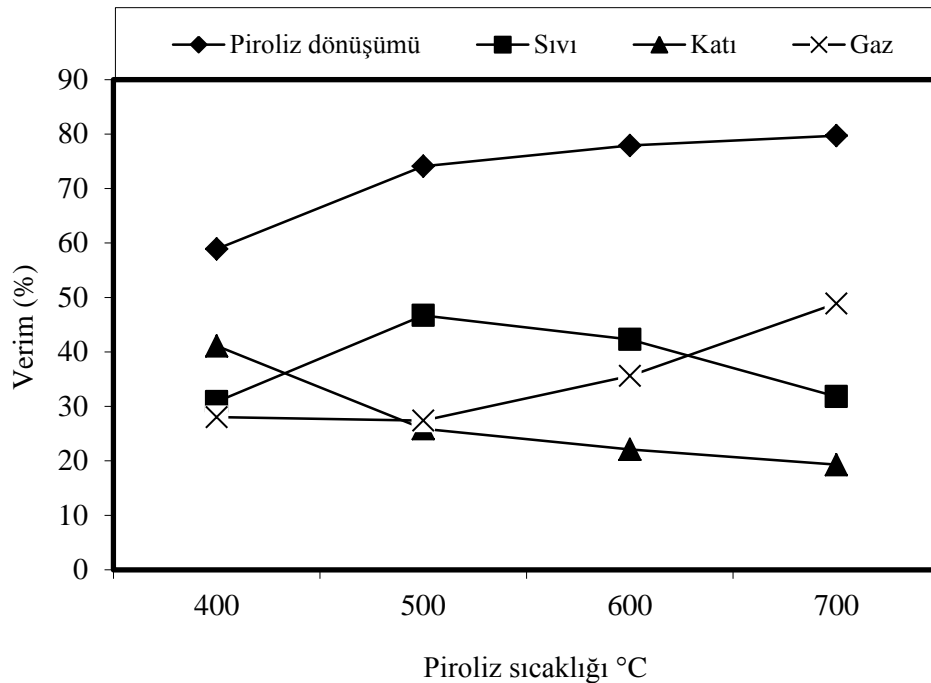
Şekil 11. Sarmışık ağacının pirolizi için < 0,425 mm parçacık boyutu ve 100 cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında ürün verimi üzerine sıcaklığın etkisi

Piroliz sıcaklığının verime karşı çizilmesiyle elde edilen grafikler (Şekil 8-11) incelendiğinde, en yüksek sıvı ürün verimine 500 °C'de ulaşıldığı görülmüştür. Şekil 8'de görüldüğü gibi piroliz sıcaklığının 400 °C'den 700 °C'ye çıkması ile piroliz dönüşümünün sürekli bir artış gösterdiği, bu artışa 600 °C'ye kadar sıvı ürün verimindeki artışın neden

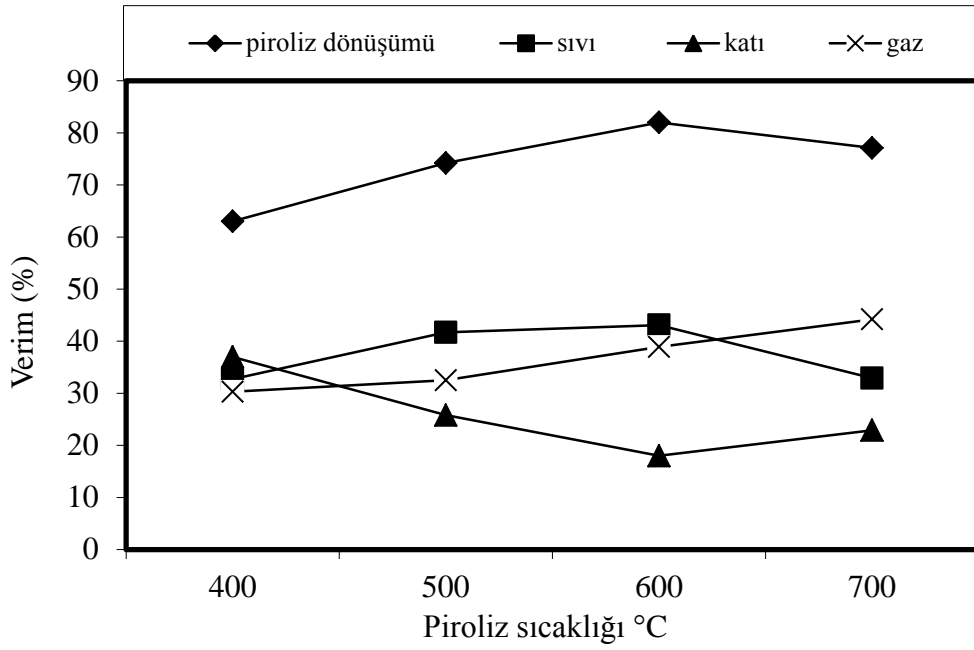
olduğu, 600 °C'den sonra ise gaz ürün verimindeki artışın neden olduğu görülmektedir. Sıcaklık 400 °C'den 700 °C'ye çıkması ile piroliz dönüşümü % 57,41den % 80,80'ya kadar yükseldiği görülmüştür.

Sürükleyici gaz akış hızlarının farklı olduğu bu dört grafikte incelendiğinde en yüksek sıvı ürün verimine 500 °C'de ulaşıldığı gözlenmiştir. Yine en yüksek sıvı ürün verimine % 41,76 ile 100 cm<sup>3</sup>/dak sürükleyici gaz akış hızında ulaşılmıştır. Aynı şartlarda piroliz dönüşümü % 72,56 olurken, katı ve gaz ürün verimleri sırasıyla % 27,44 ve % 30,80 bulunmuştur.

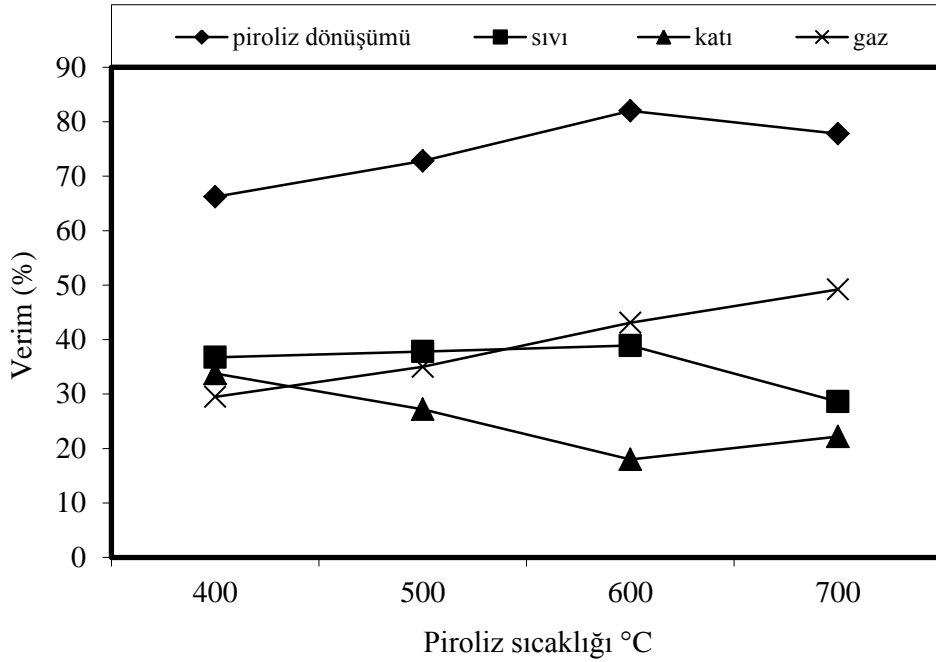
Şekil 8-11'deki grafikler incelendiğinde de katı ürün veriminin piroliz sıcaklığının artması ile sürekli bir azalış içinde olduğu gözlenmiştir. En düşük katı ürün verimi 700 °C'de % 19,20 bulundu. Yine bu grafikler incelendiğinde gaz ürün veriminin piroliz sıcaklığının artması ile önce fazla değişmediği fakat piroliz sıcaklığının 700 °C'ye çıkmasıyla ani bir artış gösterdiği gözlenmiştir. Diğer taraftan elde edilen en yüksek gaz ürün veriminin 700 °C'de % 51,80 olduğu görülmüştür. Şekil 12. Sarmaşık ağacının pirolizi için 1,00-2,00 mm parçacık boyutu ve 200 cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında ürün verimi üzerine sıcaklığın etkisi



Şekil 12. Sarmaşık ağacının pirolizi için 2,00-1,00 mm parçacık boyutu ve 200 cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında ürün verimi üzerine sıcaklığın etkisi.

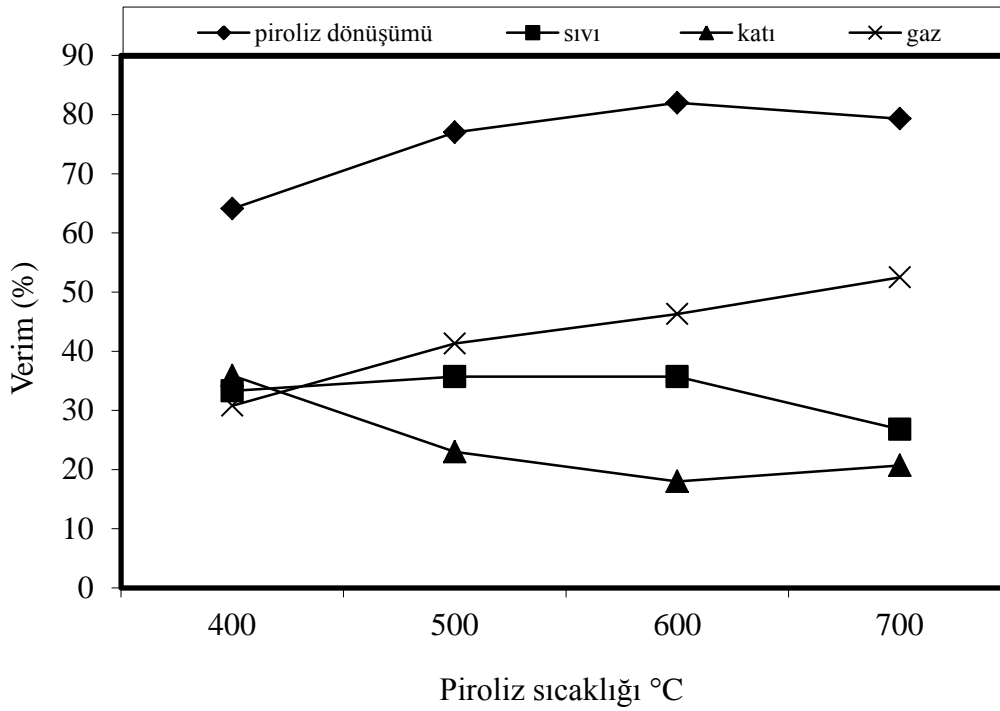


Şekil 13. Sarmasıık ağacının pirolizi için 1,00-0,850 mm parçacık boyutu ve 200 cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında ürün verimi üzerine sıcaklığın etkisi



Şekil 14. Sarmasıık ağacının pirolizi için 0,850-0,425 mm parçacık boyutu ve 200cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında ürün verimi üzerine sıcaklığın etkisi





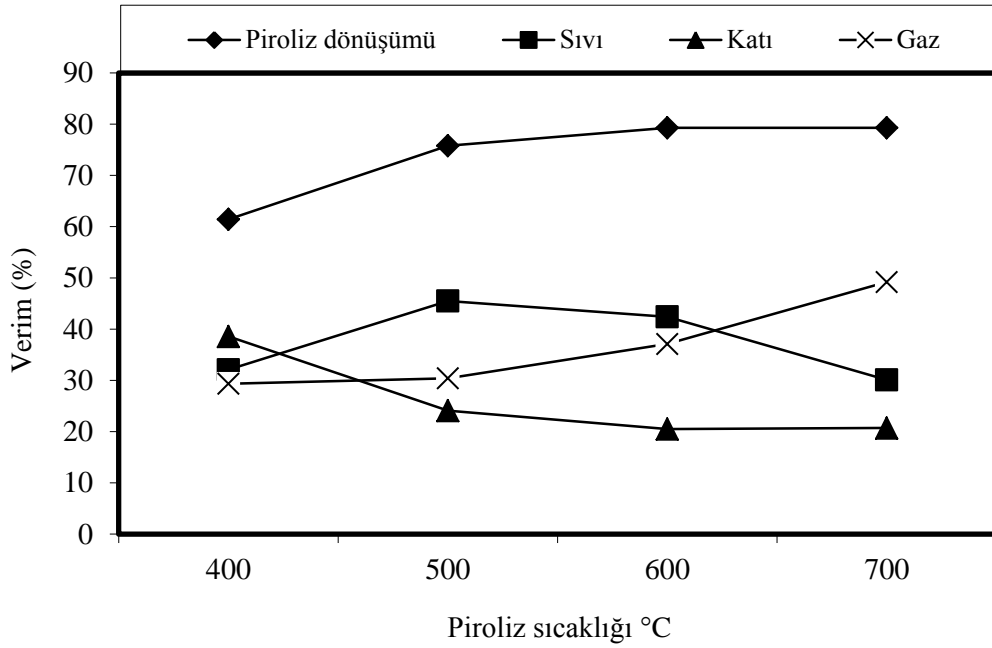
Şekil 15. Sarmışık ağacının pirolizi için  $\leq 0,425\text{mm}$  parçacık boyutu ve  $200\text{ cm}^3/\text{dak}$  azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi

Piroliz sıcaklığının verime karşı çizilmesiyle elde edilen grafikler (Şekil 12-15) incelendiğinde, en yüksek sıvı ürün verimine  $500\text{ }^\circ\text{C}$ 'de ulaşıldığı görülmüştür. Şekil (12)'de görüldüğü gibi piroliz sıcaklığının  $400\text{ }^\circ\text{C}$ 'den  $600\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye çıkması ile piroliz dönüşümünün sürekli bir artış gösterdiği, bundan sonra  $700\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar bir azalma gözlemlenmiştir, bu duruma  $600\text{ }^\circ\text{C}$ 'den sonra gaz ürün verimindeki artışın neden olduğu görülmektedir. Sıcaklık  $400\text{ }^\circ\text{C}$ 'den  $700\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye çıkması ile piroliz dönüşümü % 58,90 den % 79,70'ya kadar yükseldiği görülmüştür.

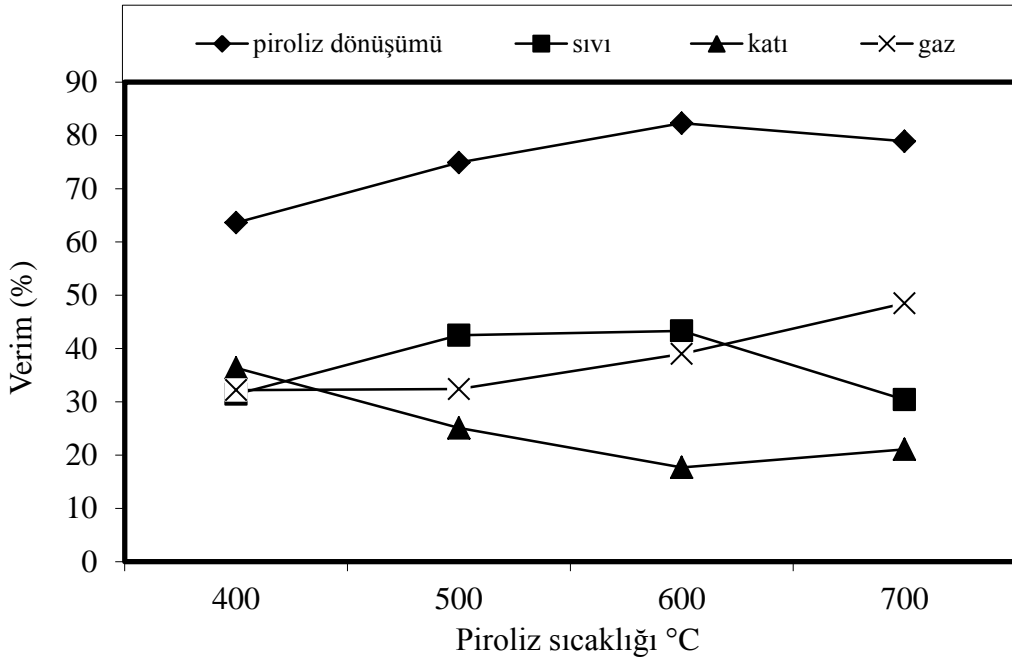
Sürükleyici gaz akış hızlarının farklı olduğu bu dört grafikte incelendiğinde en yüksek sıvı ürün verimine  $500\text{ }^\circ\text{C}$ 'de ulaşıldığı gözlenmiştir. Yine en yüksek sıvı ürün verimine % 46,70 ile  $200\text{ cm}^3/\text{dak}$  sürükleyici gaz akış hızında ulaşılmıştır. Aynı şartlarda piroliz dönüşümü % 72,56 olurken, katı ve gaz ürün verimleri sırasıyla % 25,90 ve % 27,40 bulunmuştur.

Şekil 12-15'deki grafikler incelendiğinde de katı ürün veriminin piroliz sıcaklığının artması ile sürekli bir azalış içinde olduğu gözlenmiştir. En düşük katı ürün verimi  $700\text{ }^\circ\text{C}$ 'de % 18,00 bulundu. Yine bu grafikler incelendiğinde gaz ürün veriminin piroliz sıcaklığının artması ile önce fazla değişmediği fakat piroliz sıcaklığının  $700\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye

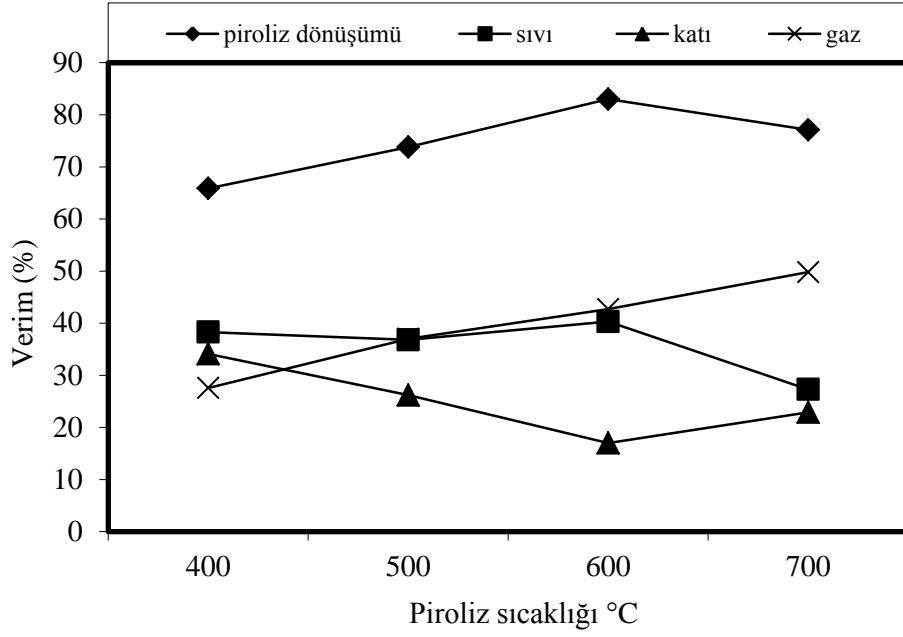
çıkmasıyla ani bir artış gösterdiği gözlenmiştir. Diğer taraftan elde edilen en yüksek gaz ürün veriminin 700 °C'de % 52,50 olduğu görülmüştür.



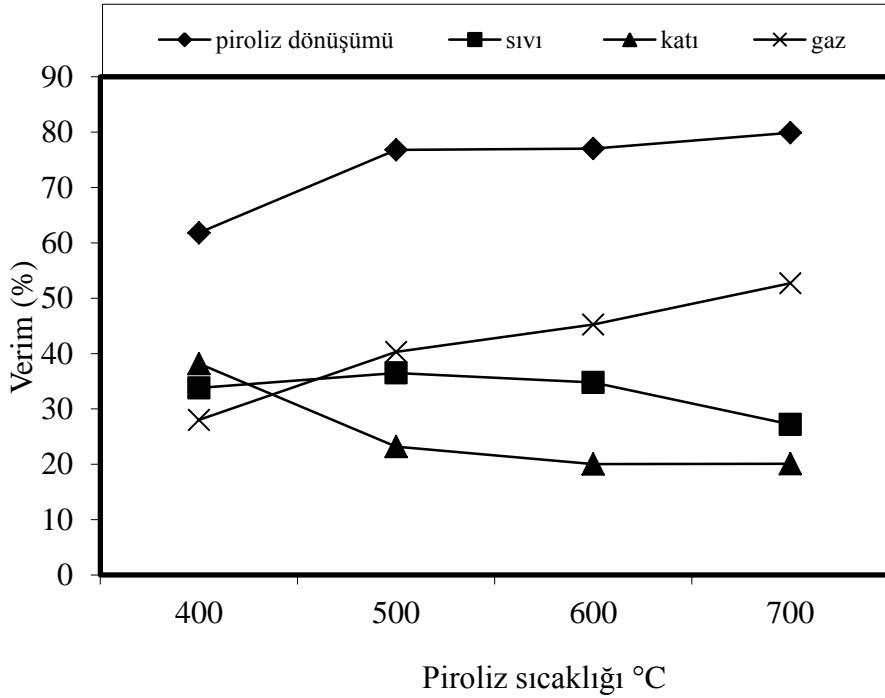
Şekil 16. Sarmaşık ağacının pirolizi için 1,00-2,00 mm parçacık boyutu ve 300 cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.



Şekil 17. Sarmaşık ağacının pirolizi için 1,00-0,850 mm parçacık boyutu ve 300 cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi.



Şekil 18. Sarmışık ağacının pirolizi için 0,850-0,425 mm parçacık boyutu ve 300 cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi

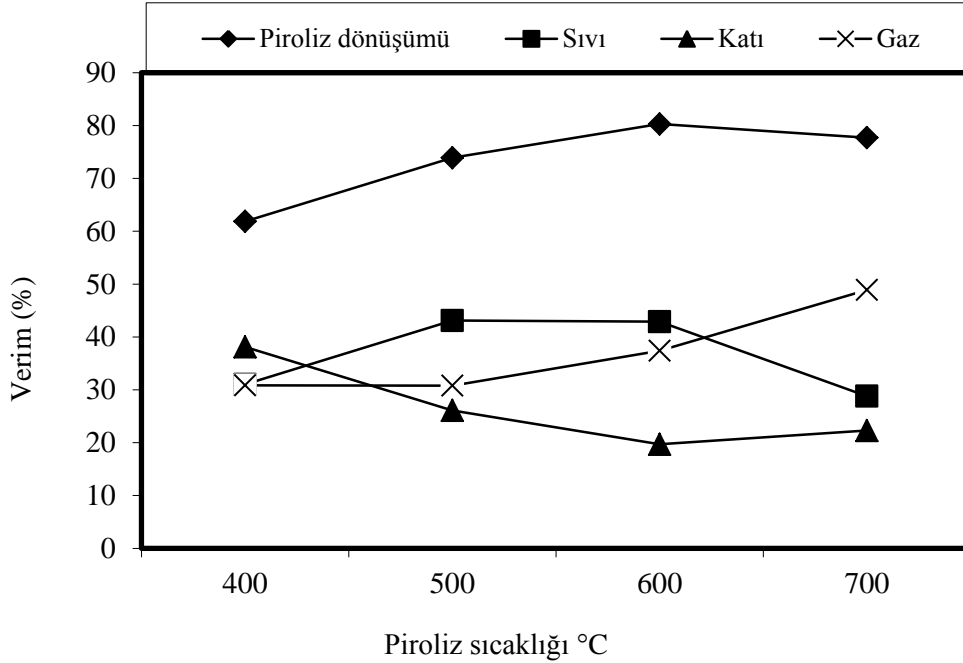


Şekil 19. Sarmışık ağacının pirolizi için ≤ 0,425mm parçacık boyutu ve 300 cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi

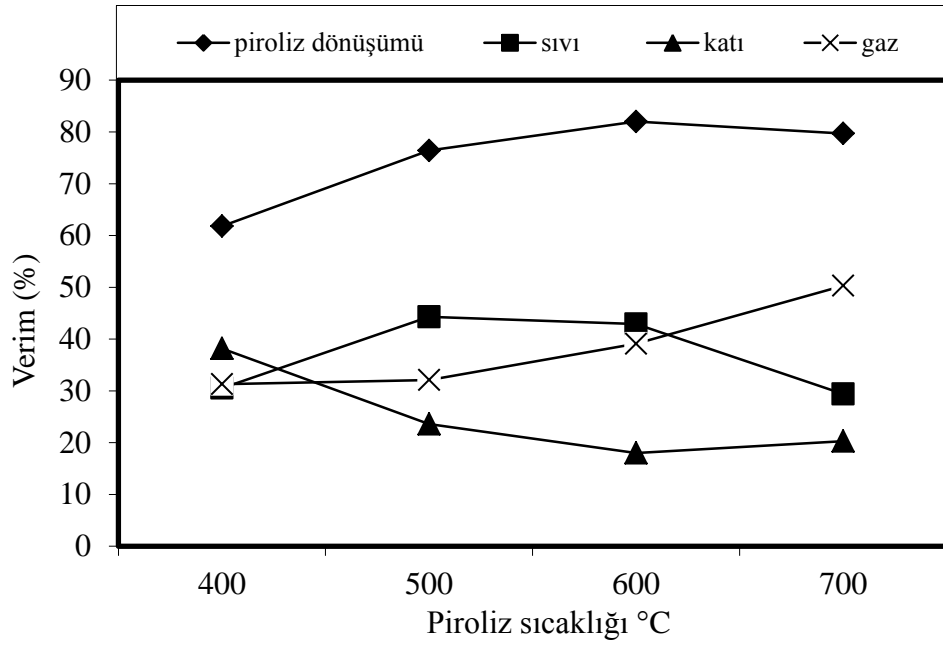
Piroliz sıcaklığının verime karşı çizilmesiyle elde edilen grafikler (Şekil 16-19) incelendiğinde, en yüksek sıvı ürün verimine 500 °C'de ulaşıldığı görülmüştür. Şekil 16'da görüldüğü gibi piroliz sıcaklığının 400 °C'den 700 °C'ye çıkması ile piroliz dönüşümünün sürekli bir artış gösterdiği, bu artışa 600 °C'ye kadar sıvı ürün verimindeki artışın neden olduğu, 600 °C'den sonra ise gaz ürün verimindeki artışın neden olduğu görülmektedir. Sıcaklık 400 °C'den 700 °C'ye çıkması ile piroliz dönüşümü % 61,42 den % 78'a kadar yükseldiği görülmüştür

Sürükleyici gaz akış hızlarının farklı olduğu bu dört grafikte incelendiğinde en yüksek sıvı ürün verimine 500 °C'de ulaşıldığı gözlenmiştir. Yine en yüksek sıvı ürün verimine % 45,50 ile 300 cm<sup>3</sup>/dak sürükleyici gaz akış hızında ulaşılmıştır. Aynı şartlarda piroliz dönüşümü % 75,80 olurken, katı ve gaz ürün verimleri sırasıyla % 24,10 ve % 30,40 bulunmuştur.

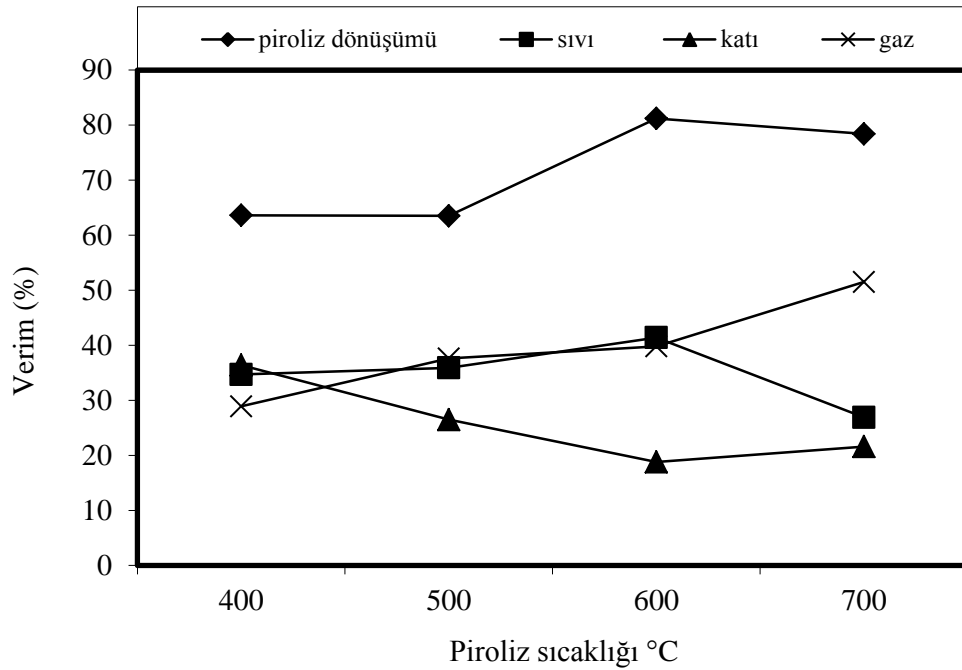
Şekil 16-19'daki grafikler incelendiğinde de katı ürün veriminin piroliz sıcaklığının artması ile sürekli bir azalış içinde olduğu gözlenmiştir. En düşük katı ürün verimi 600 °C'de % 17,00 bulundu. Diğer taraftan elde edilen en yüksek gaz ürün veriminin 700 °C'de % 52,70 olduğu görülmüştür.



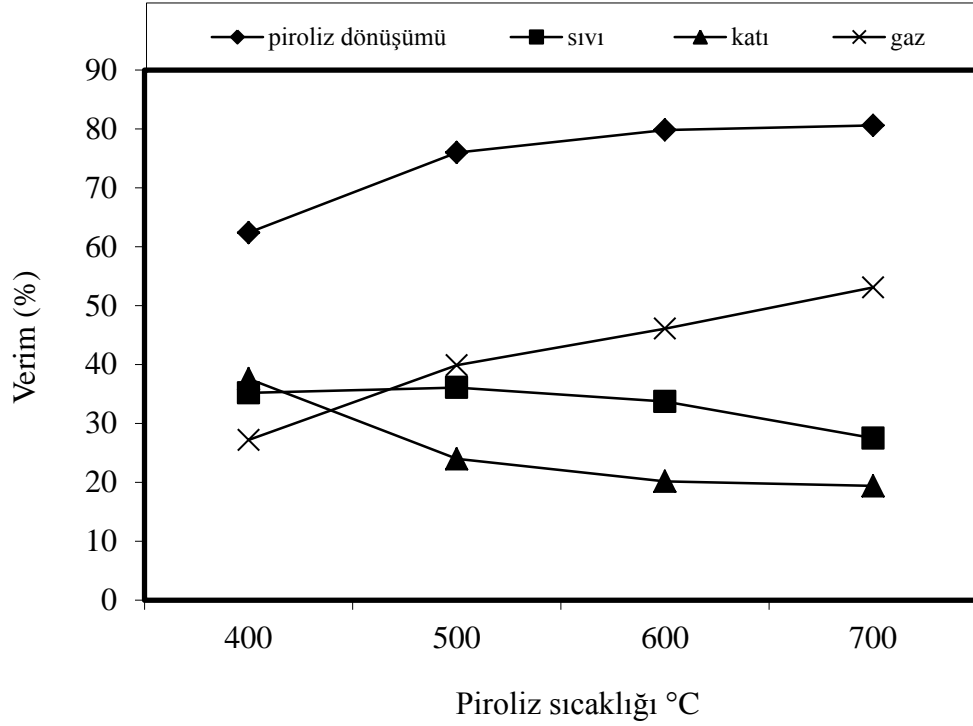
Şekil 20. Sarmaşık ağacının pirolizi için 1,00-2,00 mm parçacık boyutu ve 400 cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi



Şekil 21. Sarmaşık ağacının pirolizi için 1,00-0,850 mm parçacık boyutu ve 400 cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi



Şekil 22. Sarmaşık ağacının pirolizi için 0,850-0,425 mm parçacık boyutu ve 400cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi



Şekil 23. Sarmaşık ağacının pirolizi için  $\leq 0,425$  mm parçacık boyutu ve  $400 \text{ cm}^3/\text{dakazot}$  akış hızında ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi

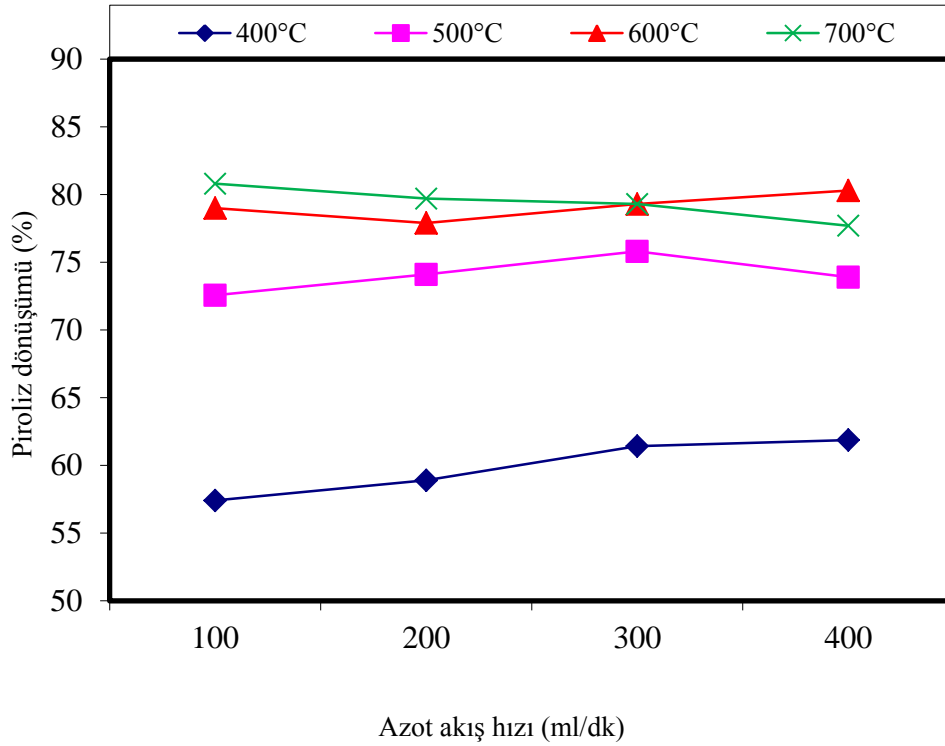
Piroliz sıcaklığının verime karşı çizilmesiyle elde edilen grafikler (Şekil 20-23) incelendiğinde, en yüksek sıvı ürün verimine  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ulaşıldığı görülmüştür. Şekil 20'de görüldüğü gibi piroliz sıcaklığının  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 'den  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye çıkması ile piroliz dönüşümünün sürekli bir artış gösterdiği, bu artışa  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar sıvı ürün verimindeki artışın neden olduğu,  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 'den sonra ise gaz ürün verimindeki artışın neden olduğu görülmektedir. Sıcaklık  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 'den  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye çıkması ile piroliz dönüşümü % 61,87'den % 77,70'ya kadar yükseldiği görülmüştür.

Sürükleyici gaz akış hızlarının farklı olduğu bu dört grafikte incelendiğinde en yüksek sıvı ürün verimine  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ulaşıldığı gözlenmiştir. Yine en yüksek sıvı ürün verimine % 44,30' da ulaşılmıştır. Aynı şartlarda piroliz dönüşümü % 76,40 olurken, katı ve gaz ürün verimleri sırasıyla % 23,60 ve % 32,10 bulunmuştur.

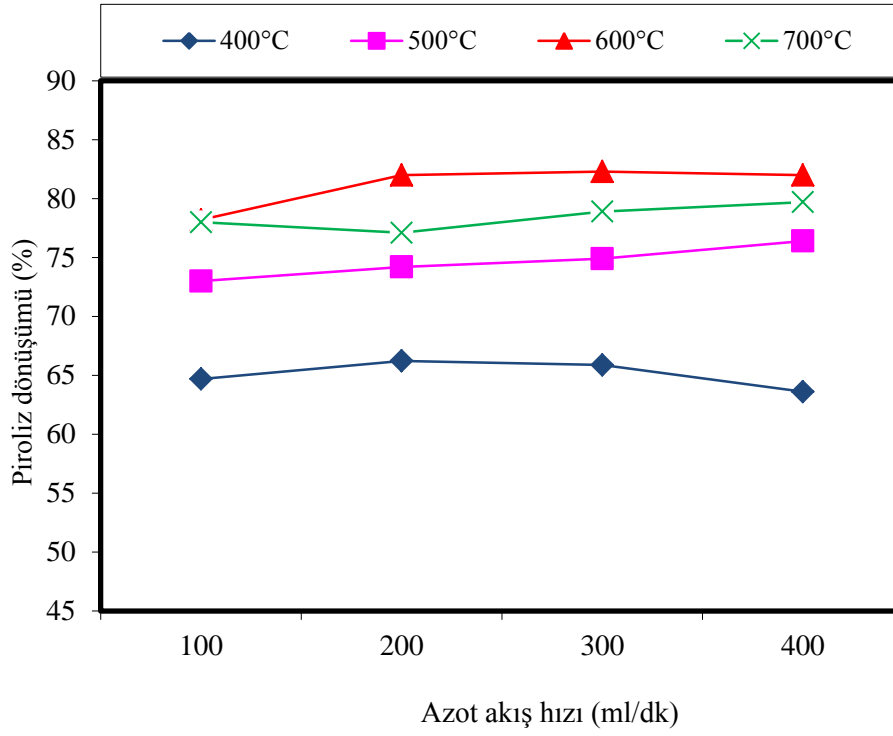
Şekil 20-23'deki grafikler incelendiğinde de katı ürün veriminin piroliz sıcaklığının artması ile sürekli bir azalış içinde olduğu gözlenmiştir. En düşük katı ürün verimi  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de % 18,00 bulundu. Diğer taraftan elde edilen en yüksek gaz ürün veriminin  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de % 53,10 olduğu görülmüştür.

### 3.2.2 Piroliz Ürün Verimi Üzerine Sürükleyici Gaz Akış Hızının Etkisi

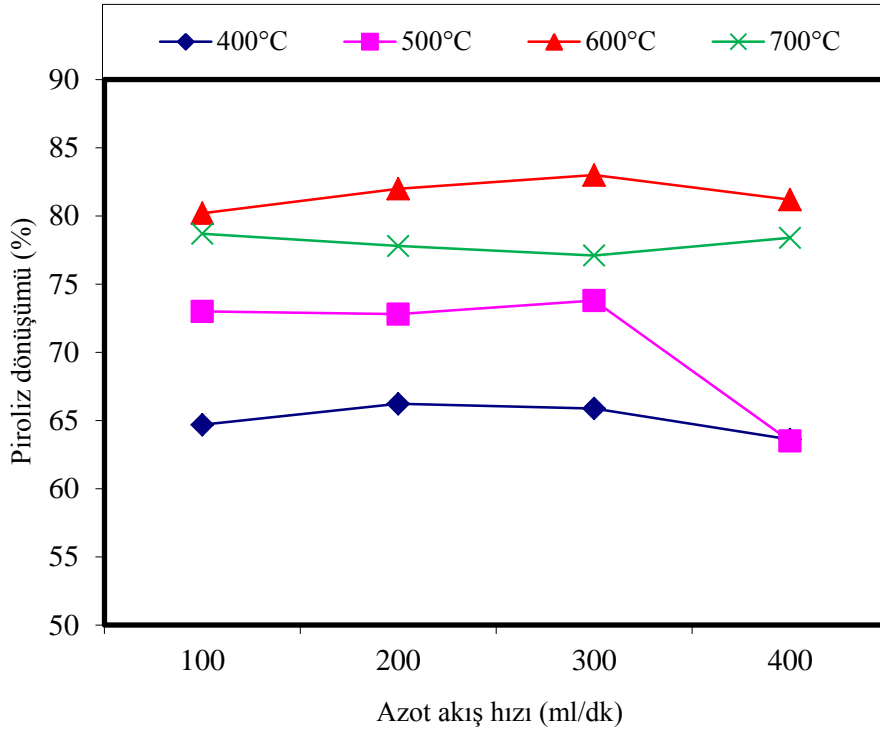
Bu bölümde hızlı piroliz yönteminde ürün verimi üzerine sürükleyici gaz akış hızının etkisi incelendi. Bu çalışmada sürükleyici gaz olarak azot gazı kullanıldı. Piroliz ürün verimleri üzerine sürükleyici gaz akış hızının etkisi araştırıldı. Elde edilen deney sonuçları aşağıdaki grafiklerde verilmiştir



Şekil 24. 1,00-2,00 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki piroliz dönüşümü üzerine azot akış hızının etkisi

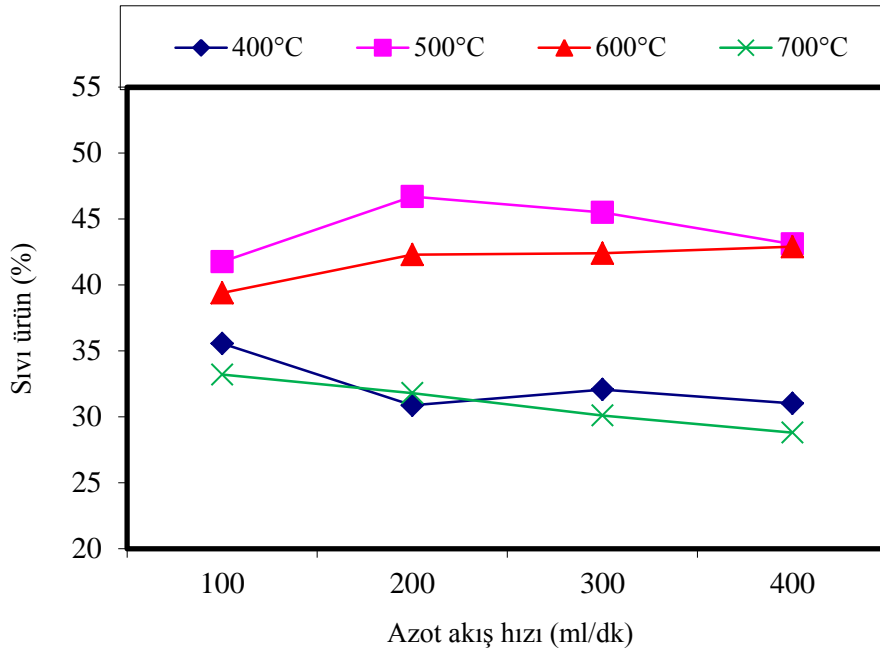


Şekil 25. 1,00-0,850 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki piroliz dönüşümü üzerine azot akış hızının etkisi



Şekil 26. 0,850-0,425 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki piroliz dönüşümü üzerine azot akış hızının etkisi



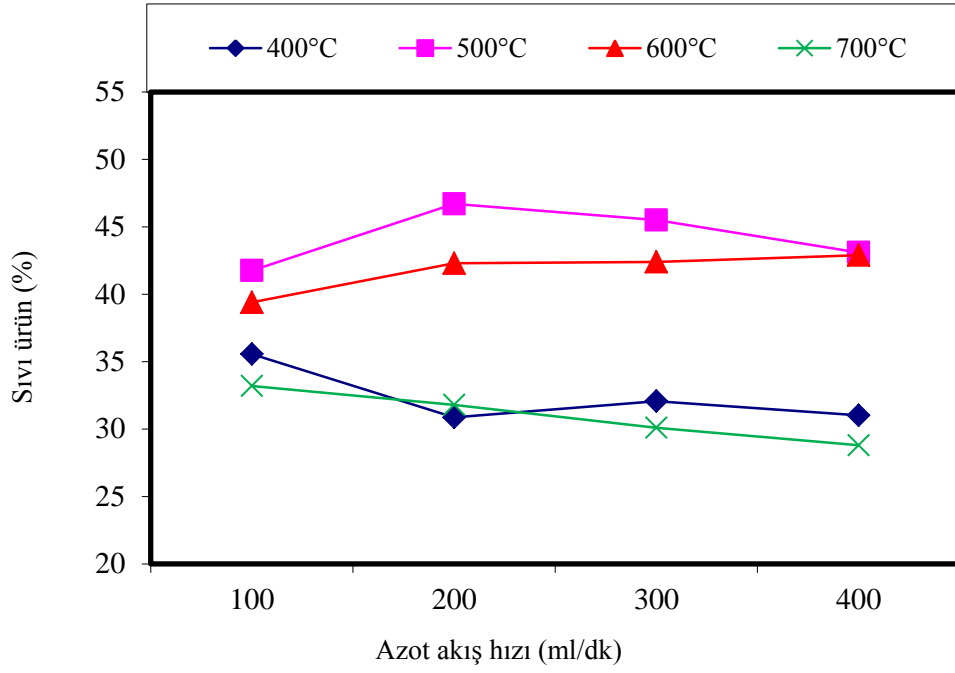


Şekil 27.  $\leq 0,425$  mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki piroliz dönüşümü üzerine azot akış hızının etkisi

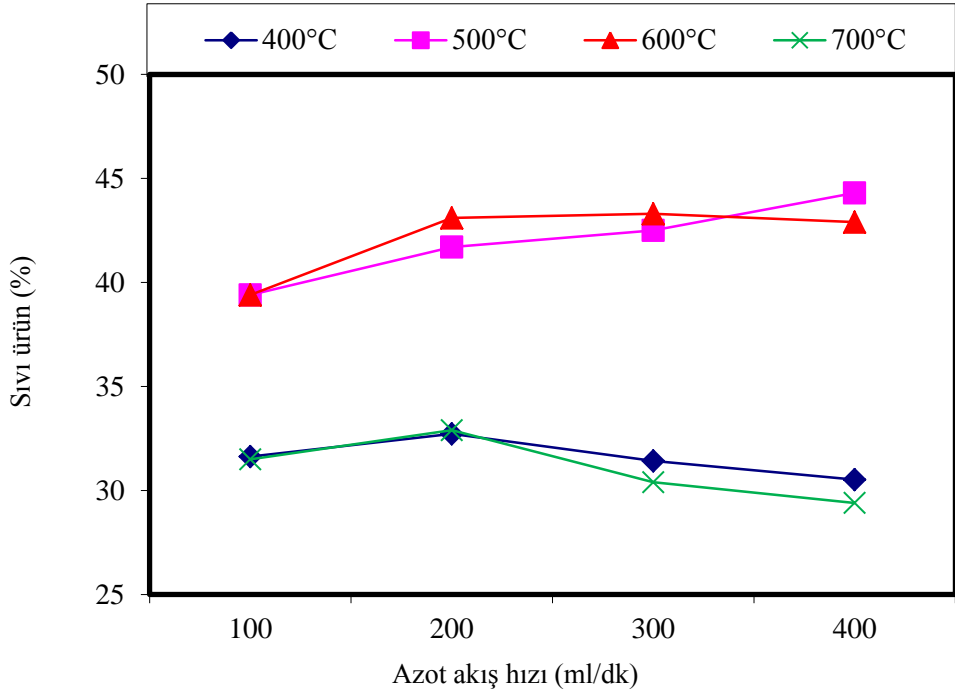
Şekil (24-27) incelendiğinde piroliz dönüşümünün azot gazı akış hızının artmasıyla birlikte sürekli bir artış içinde olduğu tespit edildi. Şekil 24 'de En yüksek piroliz dönüşümüne 400 °C sıcaklıkta, 300 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 61,42 ile, 500 °C sıcaklıkta 300 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 75,80 ile, 600 °C sıcaklıkta, 400 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 79,30 ile, 700 °C sıcaklıkta, 100 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 80,80 ile ulaşılmıştır. Şekil (25-27) 'de ise 600 °C sıcaklığa kadar bir artış bundan sonra 700 °C de ise bir azalış görülmüştür.

Şekil 25 incelendiğinde piroliz dönüşümünün en yüksek piroliz dönüşümüne 400 °C sıcaklıkta, 200 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 63,02 ile, 500 °C sıcaklıkta 400 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 76,40 ile, 600 °C sıcaklıkta, 300 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 82,30 ile, 700 °C sıcaklıkta, 400 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 79,70 ile ulaşılmıştır.

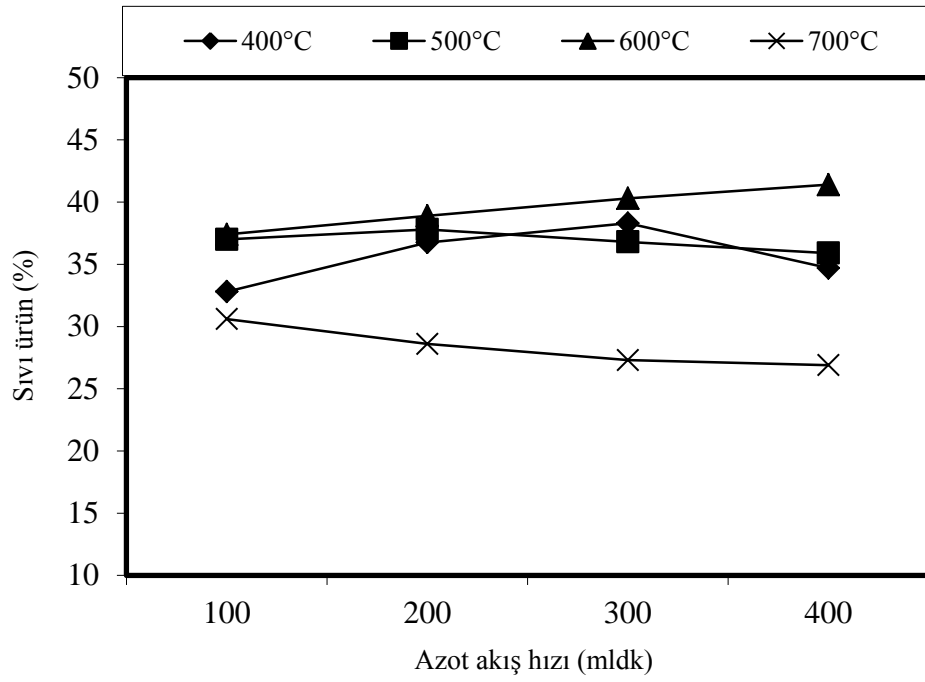
Şekil 26 incelendiğinde piroliz dönüşümünün En yüksek piroliz dönüşümüne 400 °C sıcaklıkta, 200 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 66,23 ile, 500 °C sıcaklıkta 300 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 73,80 ile, 600 °C sıcaklıkta, 300 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 83,00 ile, 700 °C sıcaklıkta, 400 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 78,40 ile ulaşılmıştır. Şekil 27 de belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir.



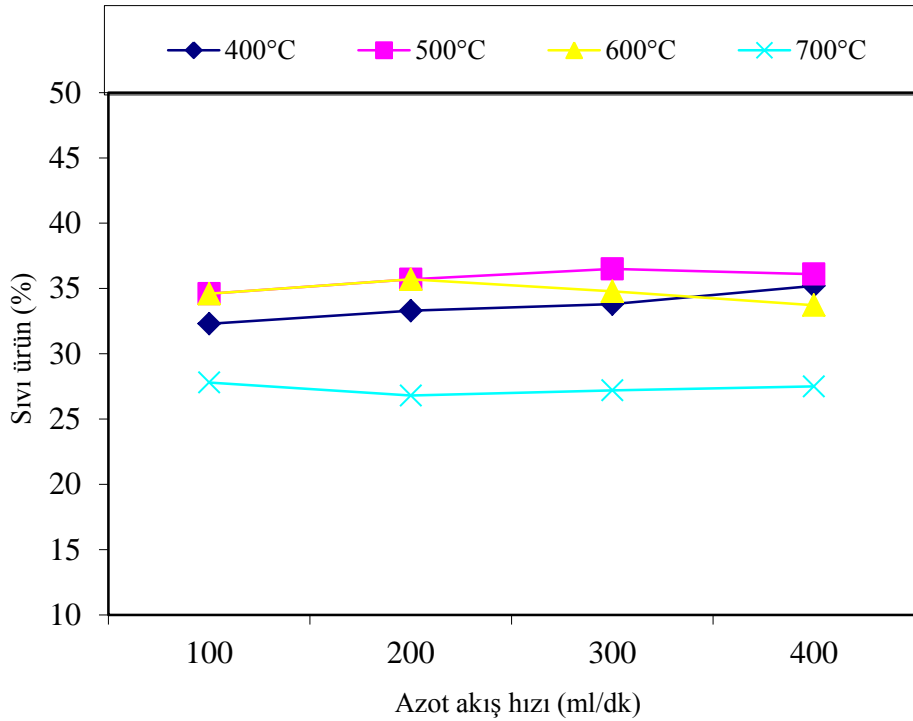
Şekil 28. 1,00-2,00 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki sıvı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi



Şekil 29. 1,00-0,850 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki sıvı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi



Şekil 30. 0,850-0,425 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki sıvı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi



Şekil 31. ≤ 0,425 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki sıvı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi

Azot gazı akış hızının sıvı ürün verimi üzerine etkisine bakıldığı zaman (Şekil 28). Sürükleyici gaz akış hızının 100'den 400 cm<sup>3</sup>/dak 'ya çıkmasıyla sıvı ürün veriminin 400 °C'de % 57,41'den % 61,87'ye çıktığı, 500 °C'de % 72,56'dan % 75,80'e çıktığı fakat gaz akışının 300'den 400 çıkmasıyla 75,80'den 73,90' e düştüğü gözlemlenmiştir, 600°C'de % 79,00'dan % 77,90'ye düştüğü fakat sürükleyici gaz akış hızının 300 den 400 cm<sup>3</sup>/dak 'ya çıkması ile tekrar 80,30' a çıktığı gözlenmiştir. 700 °C'de ise %80,80 'den 77,70 cm<sup>3</sup>/dak'ya düştüğü gözlenmiştir. En yüksek sıvı ürün verimine 700 °C'de 100 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 80,80'e ulaşıldığı tespit edilmiştir.

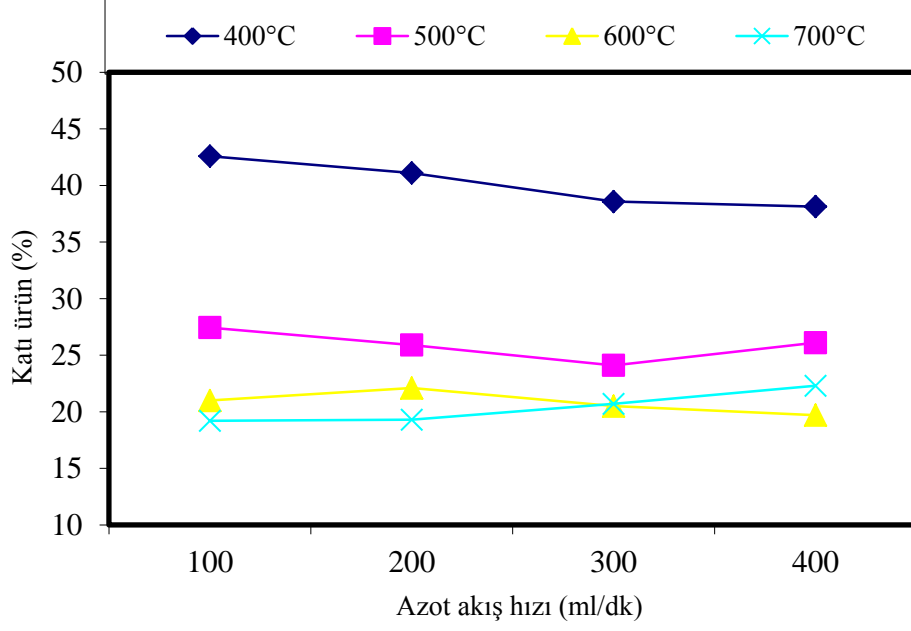
Azot gazı akış hızının sıvı ürün verimi üzerine etkisine bakıldığı zaman (Şekil 28). Sürükleyici gaz akış hızının 100'den 200 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla sıvı ürün veriminin 400 °C'de % 31,63'den % 32,72'ye çıktığı 200den 400cm<sup>3</sup>/dak'ya % 30,52 ye düştüğü 500 °C'de % 39,40'dan % 44,30 çıktığı gözlemlenmiştir, 600°C'de % 79,00'dan % 77,90'ye düştüğü sürükleyici gaz akış hızının 100 den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkması ile %39,40'dan %43,30 'a çıktığı fakat 300 den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkması ile %43,30 dan %42,90'e düştüğü gözlemlenmiştir . 700 °C'de ise %31,50 dan % 29,40'a düştüğü gözlemlenmiştir. En yüksek sıvı ürün verimine 500 °C'de 400 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 44,30'e ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Azot gazı akış hızının sıvı ürün verimi üzerine etkisine bakıldığı zaman (Şekil 29). Sürükleyici gaz akış hızının 100'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla sıvı ürün veriminin 400 °C'de % 32,80'den % 38,30'ye çıktığı 300den 400cm<sup>3</sup>/dak'ya % 34,70 ye düştüğü 500 °C'de 100'den 200 cm<sup>3</sup>/dak'ya % 37,00 den % 37,80 a çıktığı 200'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya % 36,80 a düştüğü 300'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya % 35,90ya yükseldiği gözlemlenmiştir. 600 °C'de % 37,40 dan % 41,40 a çıktığı gözlemlenmiştir . 700 °C'de ise %30,60 dan % 26,90'a düştüğü gözlemlenmiştir. En yüksek sıvı ürün verimine 600 °C'de 400 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında % 41,40'e ulaşıldığı tespit edilmiştir.

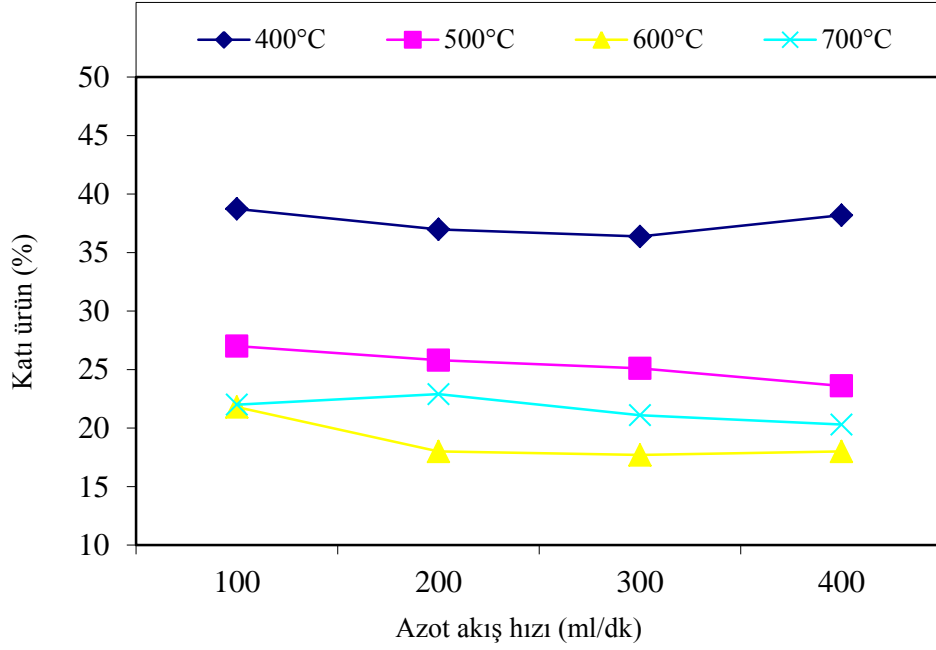
Azot gazı akış hızının sıvı ürün verimi üzerine etkisine bakıldığı zaman (Şekil 30) düşük sıcaklıklarda sürükleyici gaz akış hızının artması ile sıvı ürün veriminin azaldığı gözlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda ise sürükleyici gaz akış hızının artmasıyla sıvı ürün veriminin arttığı gözlenmiştir. Sürükleyici gaz akış hızının 100'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla sıvı ürün veriminin 400 °C'de % 32,30'den % 35,20'ye çıktığı,500 °C'de ise 100'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya %34,60 dan %36,50'a çıktığı 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla

% 36,10 düştüğü gözlemlenmiştir.,600 °C'de ise 100'den 200 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla %34,60 dan %35,70 çıktığı 200'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla % 33,72

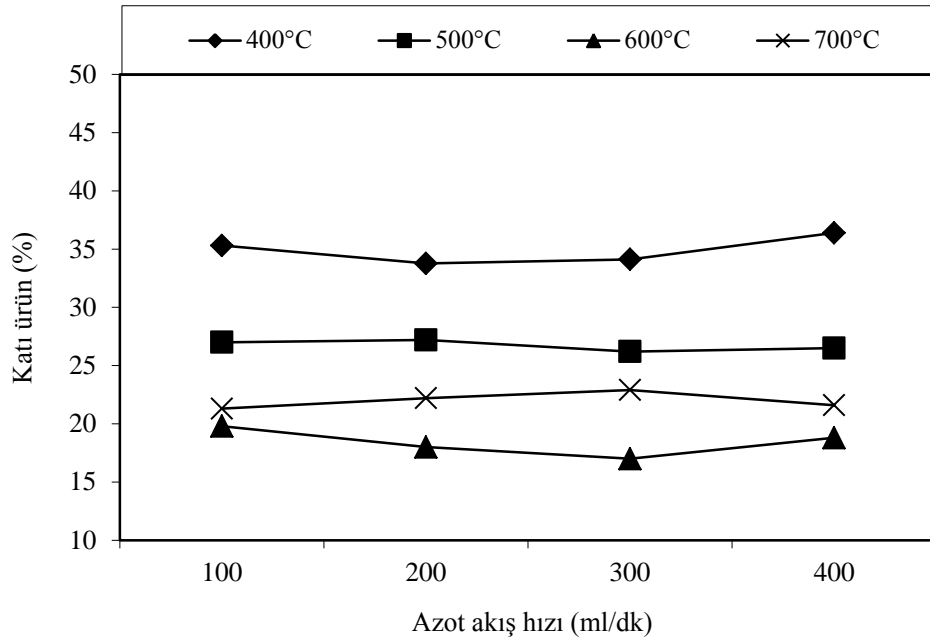
düştüğü gözlemlenmiştir. 700 °C’de ise 100’den 200 cm<sup>3</sup>/dak’ya çıkmasıyla %27,80 den %26,80’ a düştüğü 200’den 400 cm<sup>3</sup>/dak’ya çıkmasıyla %27,50 çıktığı gözlemlenmiştir



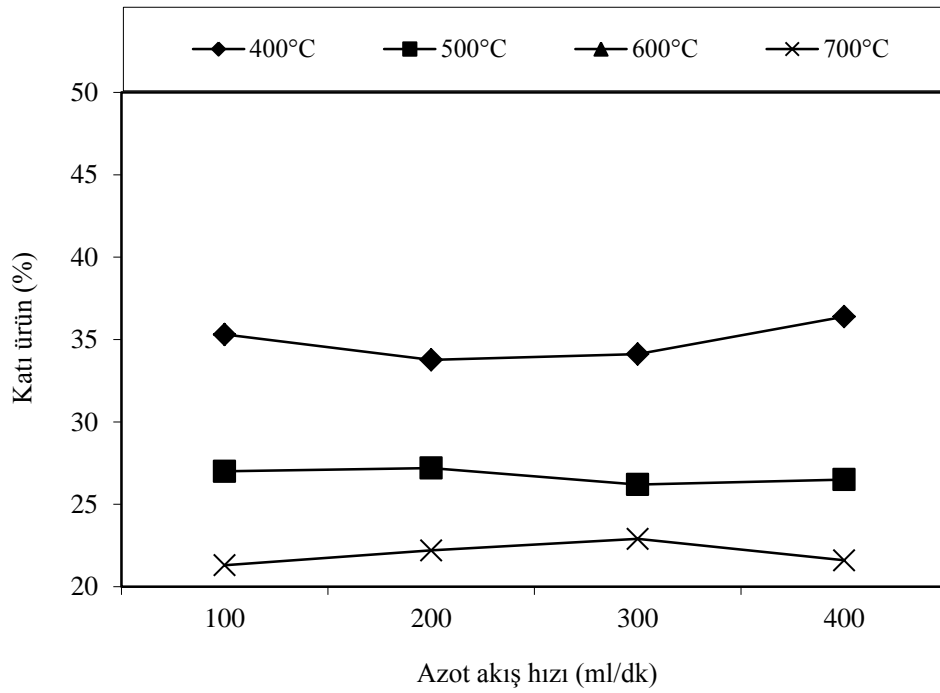
Şekil 32. 1,00-2,00 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki katı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi



Şekil 33. 1,00-0,850 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki katı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi



Şekil 34. 0,850-0,425 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki katı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi



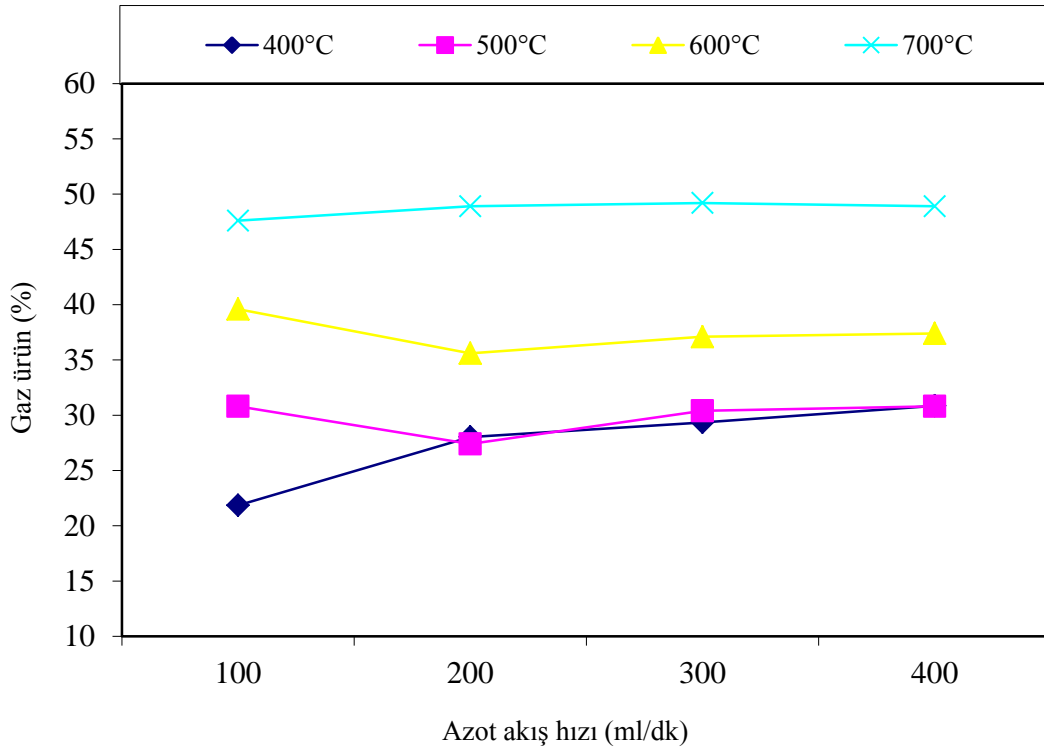
Şekil 35.  $\leq 0,425$  mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki katı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi

Katı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisinin verildiği grafik (Şekil 32) incelendiğinde, Sürükleyici gaz akış hızının 100'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla katı ürün veriminin 400 °C'de % 42,59 den % 38,13 'e düştüğü, 500 °C'de 100'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla %27,44 den % 24,10 düştüğü 300'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla % 26,10 çıktığı, 600 °C'de % 25,70'den % 25,45'e düştüğü ve 700 °C'de ise %19,20 den 22,30 çıktığı gözlenmiştir. Diğer şekillerde de benzer değişiklikler görüldüğü tespit edilmiştir.

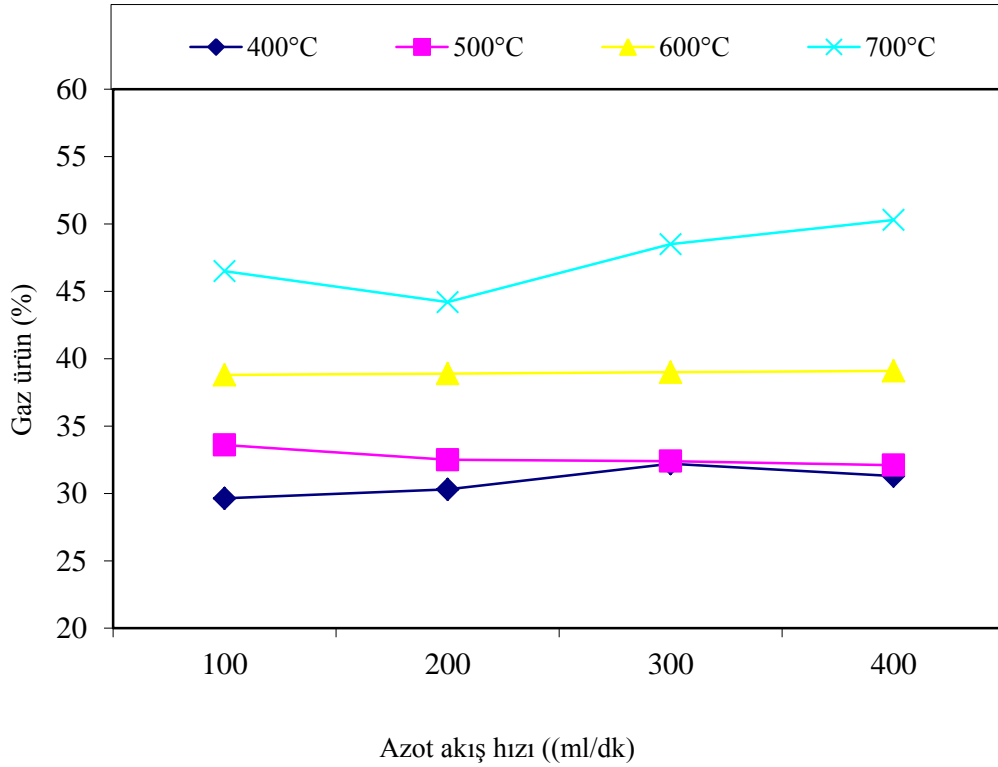
Katı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisinin verildiği grafik (Şekil 33) incelendiğinde, Sürükleyici gaz akış hızının 100'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla katı ürün veriminin 400 °C'de % 38,73 den % 36,37 'e düştüğü 300'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya %38,39 çıktığı gözlemlenmiştir, 500 °C'de 100'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla %27,00 den % 23,60 düştüğü, 600 °C'de isen 100'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya % 21,80 den %17,70 düştüğü 300'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla % 18,00 'e çıkmıştır ve 700 °C'de ise 100'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla %22,00 den 22,90 çıktığı 300'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya 20,30 düştüğü gözlenmiştir.

Katı ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisinin verildiği grafik (Şekil 34) incelendiğinde. Sürükleyici gaz akış hızının 100'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla katı ürün veriminin 400 °C'de % 35,31 den %36,39 'e çıktığı gözlemlenmiştir. 500 °C'de 100'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla %27,00 den % 26,20 düştüğü 300'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla % 26,50 çıkmıştır, 600 °C'de ise 100'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya % 19,80 den %17,00 düştüğü 300'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla % 18,80 çıkmıştır ve 700 °C'de ise 100'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla %21,30 den 22,90 çıktığı 300'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya % 21,60 düştüğü gözlenmiştir

Sürükleyici gaz akış hızının 100'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla katı ürün veriminin 400 °C'de % 35,90 den %38,19 'e çıktığı 300'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla % 37,60 düştüğü gözlemlenmiştir, 500 °C'de 100'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla %24,70 den % 23,20 düştüğü 300'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla % 24,00 çıkmıştır, 600 °C'de ise 100'den 200 cm<sup>3</sup>/dak'ya % 21,10 den %18,00 düştüğü ve 200'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla % 20,18 çıkmıştır ve 700 °C'de ise 100'den 200 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla %20,40 den 20,70 çıktığı 200'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya % 19,40 düştüğü gözlenmiştir.

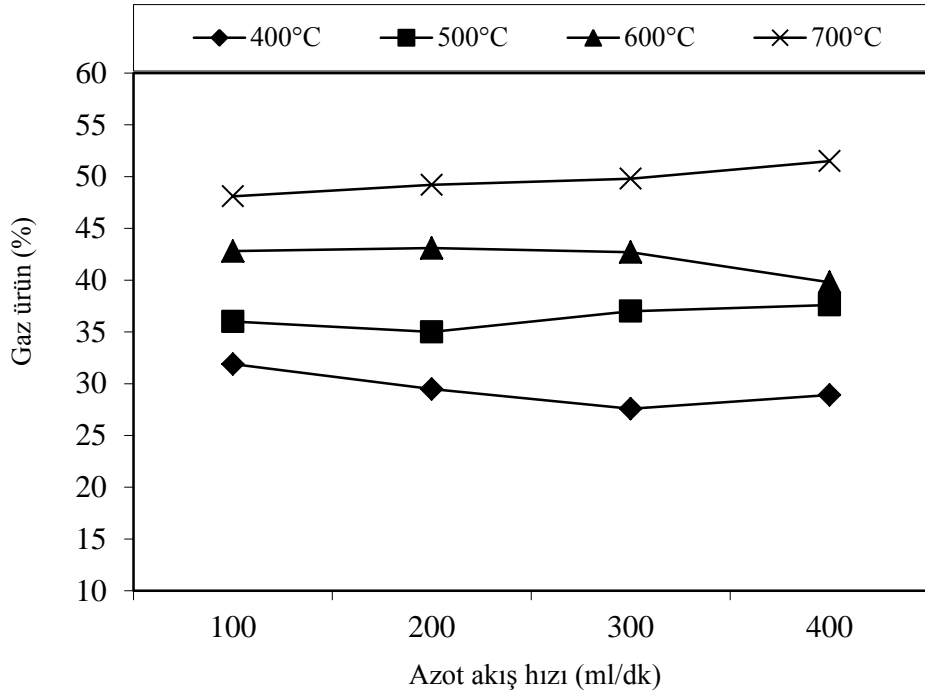


Şekil 36. 1,00-2,00 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki gaz ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi

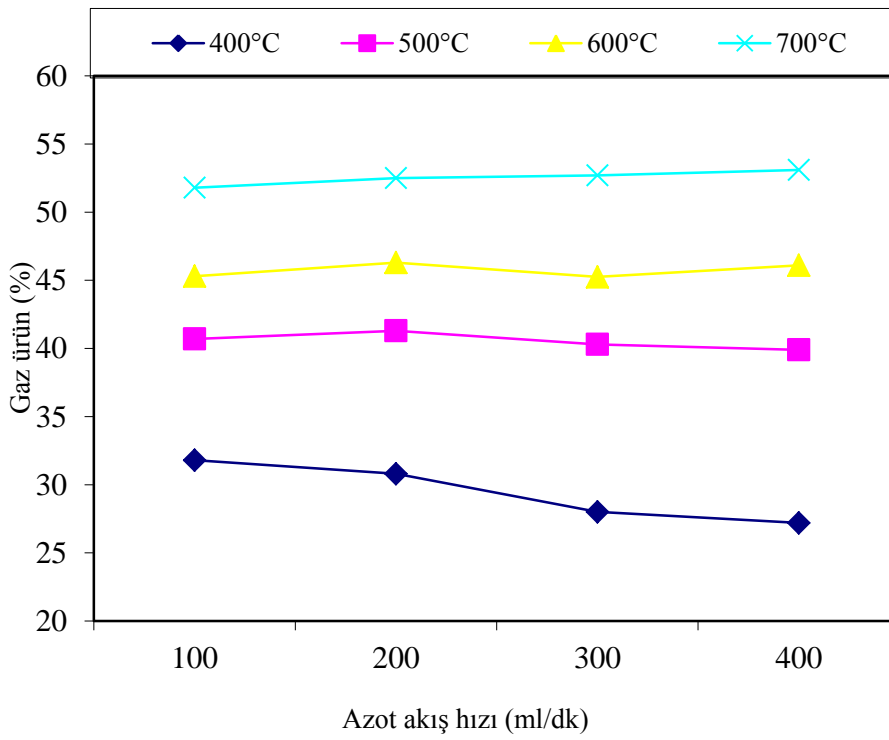


Şekil 37. 1,00-0,850 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki gaz ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi





Şekil 38. 0,425-0,850 mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki gaz ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi



Şekil 39.  $\leq 0,425$  mm parçacık boyutlu sarmaşık ağacının pirolizindeki değişik sıcaklıklardaki gaz ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisi

Gaz ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisinin verildiği grafik (Şekil 36) incelendiğinde, Sürükleyici gaz akış hızının 100'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla katı ürün veriminin 400 °C'de % 21,85 den %30,85'e çıktığı gözlemlenmiştir, 500 °C'de 100'den 200 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla %30,80 den % 27,40 düştüğü 200'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla % 30,80'e çıkmıştır, 600 °C'de ise 100'den 200 cm<sup>3</sup>/dak'ya % 39,60 den %35,60 düştüğü 200'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla % 37,40 çıkmıştır ve 700 °C'de ise 100'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla %47,60 den % 49,20'e çıktığı 300'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya % 48,90 düştüğü gözlenmiştir.

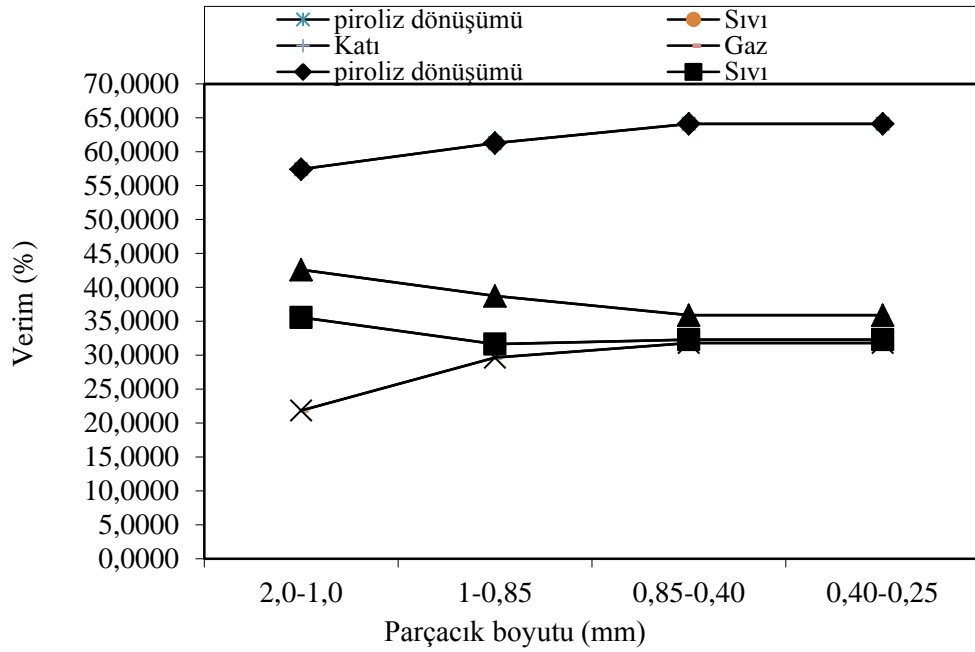
Gaz ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisinin verildiği grafik (Şekil 37) incelendiğinde, Sürükleyici gaz akış hızının 100'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla katı ürün veriminin 400 °C'de % 29,64 den %32,21'e çıktığı ve 300'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıktığında ise katı ürün veriminin %31,29'a düştüğü gözlemlenmiştir. 500 °C'de azot akış hızının 100'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla katı ürün veriminin %33,60 den % 32,10'a düştüğü belirlenmiştir. 600 °C'de ise 100'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya % 38,80 den % 39,10 çıktığı gözlemlenmiştir ve 700 °C'de ise 100'den 200 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla %46,50'den % 44,20 düştüğü 200'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya % 50,30 çıktığı gözlemlenmiştir

Gaz ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisinin verildiği grafik (Şekil 38) incelendiğinde. Sürükleyici gaz akış hızının 100'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla katı ürün veriminin 400 °C'de % 31,89 den %27,58'e 300'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya %28,91 değerine çıktığı gözlemlenmiştir. 500 °C'de 100'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla gaz ürün verimi %36,00'den % 37,60'a çıkmıştır, 600 °C'de ise 100'den 200 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla % 42,80 den %43,10 çıktığı ve 200'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla ise % 39,80 düştüğü gözlemlenmiştir. Sürükleyici gaz akış hızının 700 °C'de ise 100'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla gaz ürün veriminin %48,10'den % 51,50'a çıktığı gözlemlenmiştir.

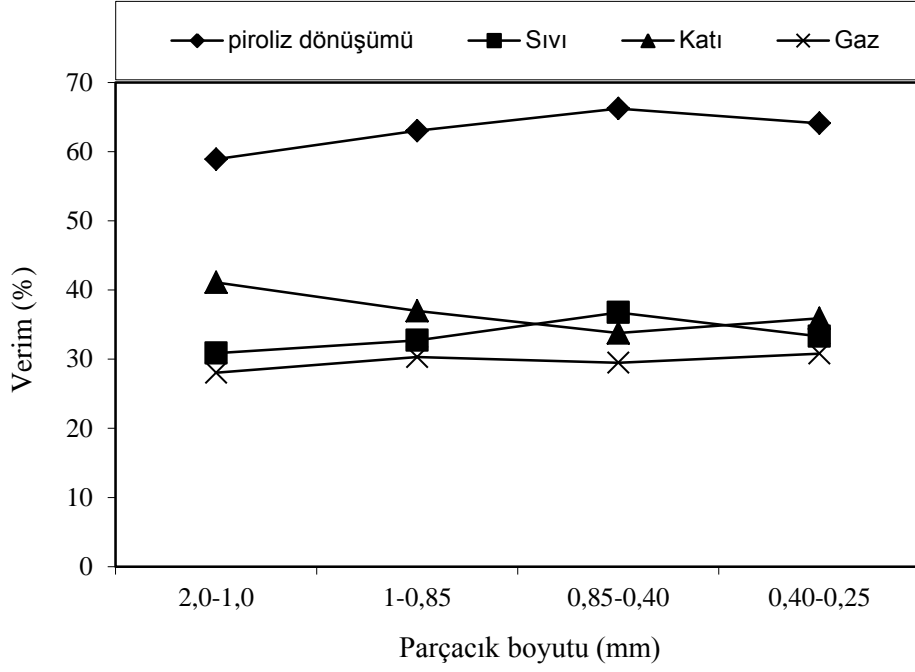
Gaz ürün verimi üzerine azot akış hızının etkisinin verildiği grafik (Şekil 39) incelendiğinde. Sürükleyici gaz akış hızının 100'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla katı ürün veriminin 400 °C'de % 31,80 den %27,20'e düştüğü gözlemlenmiştir , 500 °C'de 100'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla %40,70 den % 39,90düştüğü gözlemlenmiştir , 600 °C'de isen100'den 200 cm<sup>3</sup>/dak'ya % 45,,30 den %46,30 çıktığı 200'den 300 cm<sup>3</sup>/dak'ya % 45,25 düştüğü 300'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla % 46,10 çıktığı gözlemlenmiştir ve 700 °C'de ise 100'den 400 cm<sup>3</sup>/dak'ya çıkmasıyla %51,80 den % 53,10 çıktığı gözlemlenmiştir.

### 3.2.3. Piroliz Ürün Verimleri Üzerine Parçacık Boyutunun Etkisi

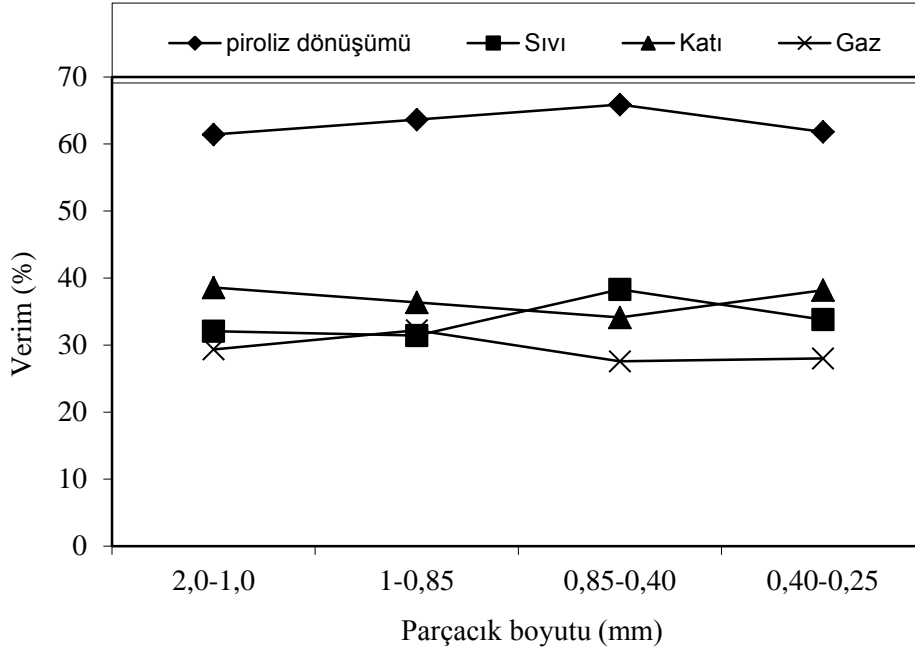
Ürün verimi üzerine parçacık boyutunun etkisinin incelenmesi amacıyla, değişik piroliz sıcaklıklarında 100,200,300,400 cm<sup>3</sup>/dak azot gazı akış hızında  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm,  $D_p \leq 0,425$  mm olmak üzere dört farklı parçacık boyutunda piroliz ürün verimlerinin nasıl değiştiği araştırıldı. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerde verilmiştir (Şekil 40-43).



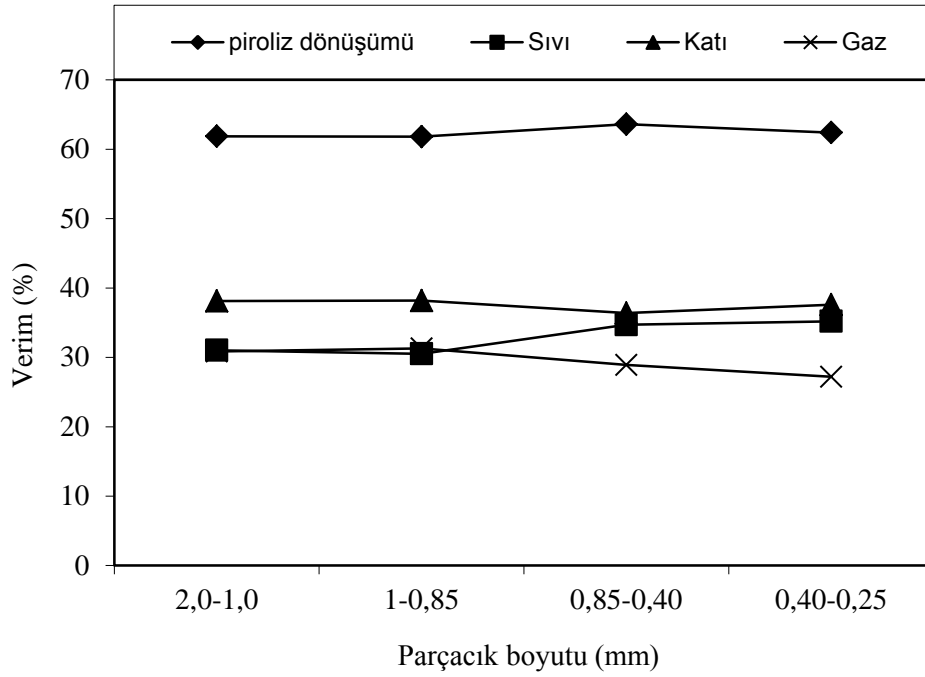
Şekil 40. 400 °C sıcaklıkta ve 100 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi



Şekil 41. 400 °C sıcaklıkta ve 200 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi



Şekil 42. 400 °C sıcaklıkta ve 300 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi



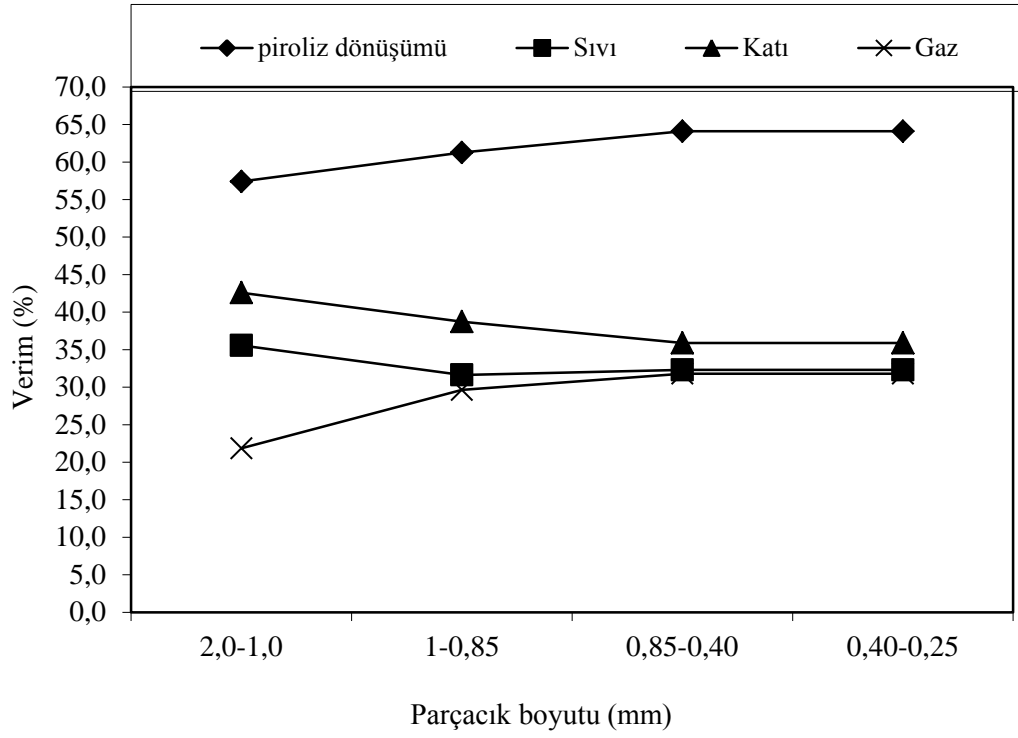
Şekil 43. 400 °C sıcaklıkta ve 400 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi

Piroliz ürün verimi üzerine parçacık boyutunun etkisinin incelendiği bu bölümde (Şekil 40-43) dört farklı piroliz sıcaklığı için de parçacık boyutunun değişmesiyle piroliz ürün verimlerinde belirgin bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Genel olarak hızlı piroliz de kullanılan biyokütlenin parçacık boyutunun 2 mm den daha düşük olduğu durumlarda parçacık boyutunun değişmesi ürün verimini etkilememektedir. 400 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için piroliz dönüşümleri sırasıyla %61,87, % 61,81, % 63,61 ve % 62,40 olarak belirlenmiştir.

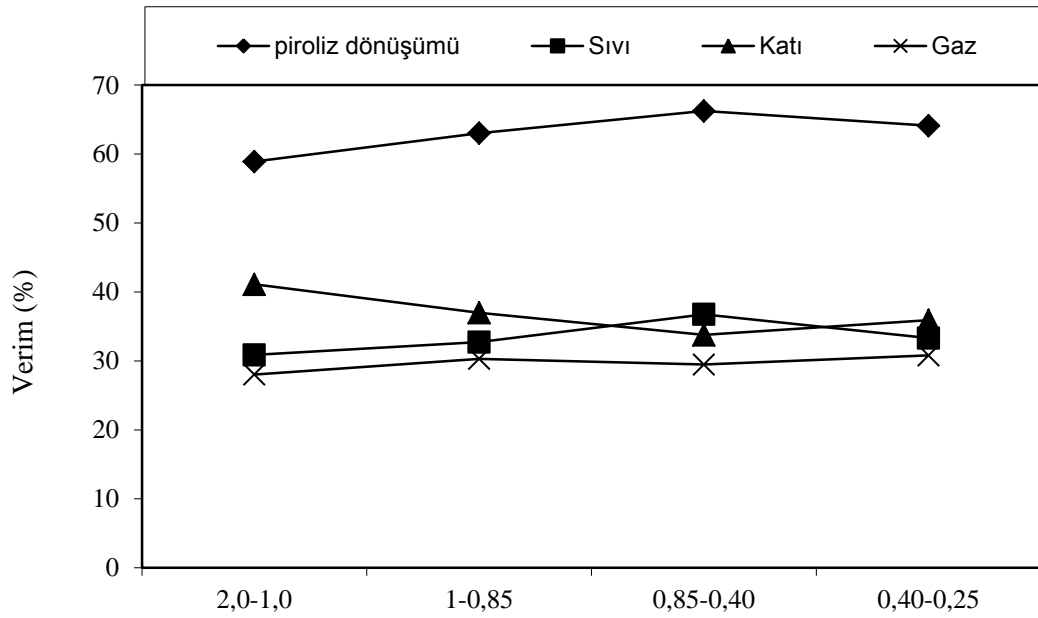
Şekil 41 de ise 400 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla % 35,56, % 31,63, %32,80, % 32,30.

Şekil 42 de ise 400 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla %30,87, %32,72, %36,75, % 33,30 olarak belirlenmiştir.

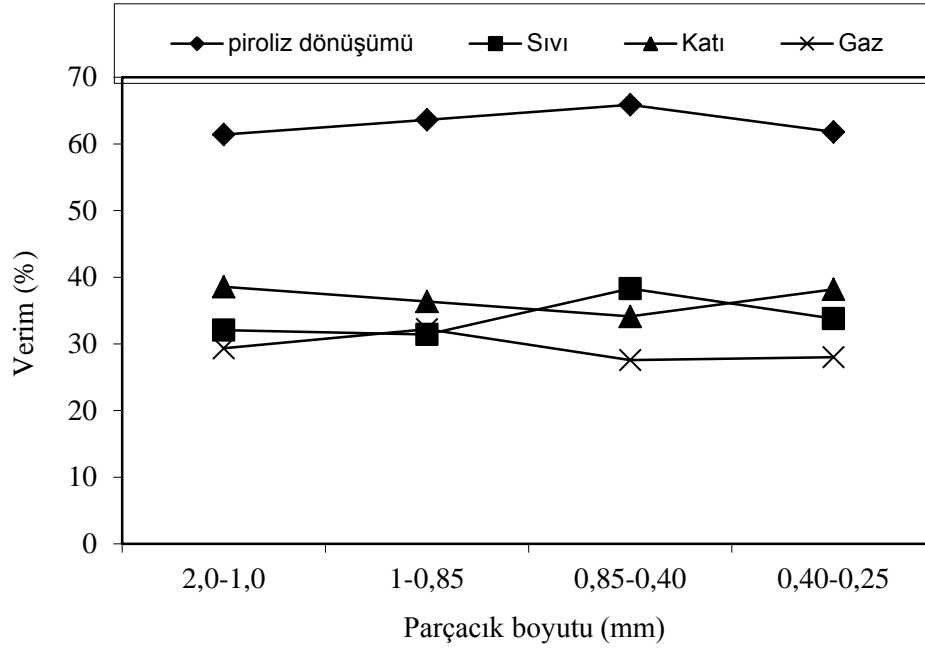
Şekil 43 de ise 400 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla %32,07, %31,42, %38,30 ve % 33,80 olarak belirlenmiştir.



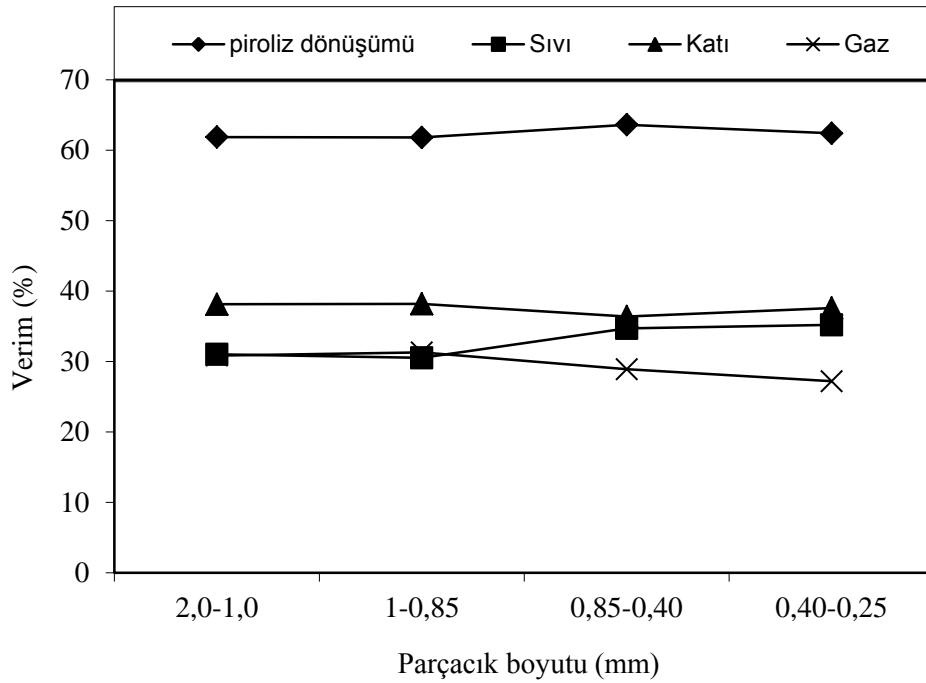
Şekil 44. 500 °C sıcaklıkta ve 100 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi



Şekil 45. 500 °C sıcaklıkta ve 200 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi



Şekil 46. 500 °C sıcaklıkta ve 300 mL/dak azot akış hızında sarmışık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi



Şekil 47. 500 °C sıcaklıkta ve 400 mL/dak azot akış hızında sarmışık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi.

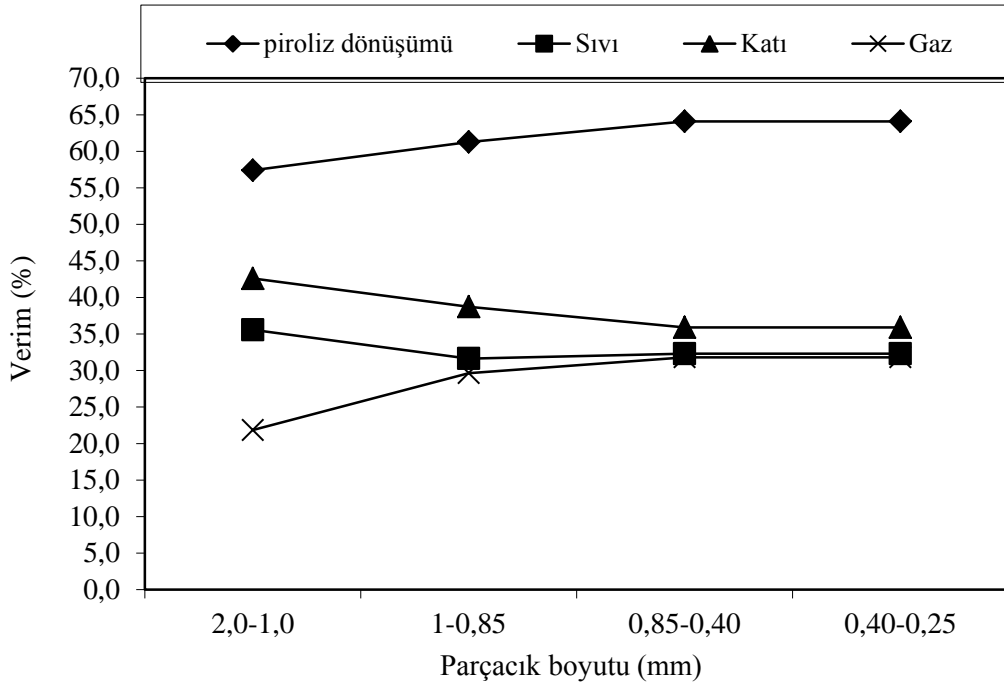
Piroliz ürün verimi üzerine parçacık boyutunun etkisinin incelendiği bu bölümde (Şekil 44-47) dört farklı piroliz sıcaklığı için de parçacık boyutunun değişmesiyle piroliz ürün verimlerinde belirgin bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Genel olarak hızlı piroliz de kullanılan biyokütle için parçacık boyutunun 2 mm den daha düşük olduğu durumlarda parçacık boyutunun değişmesi ürün verimini etkilememektedir. 500 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla %41,76, % 39,40, % 37,00 ve % 34,60 olarak belirlenmiştir.

Şekil 45 de ise 500 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla %46,70, %41,70, %37,80, % 35,70 olarak belirlenmiştir.

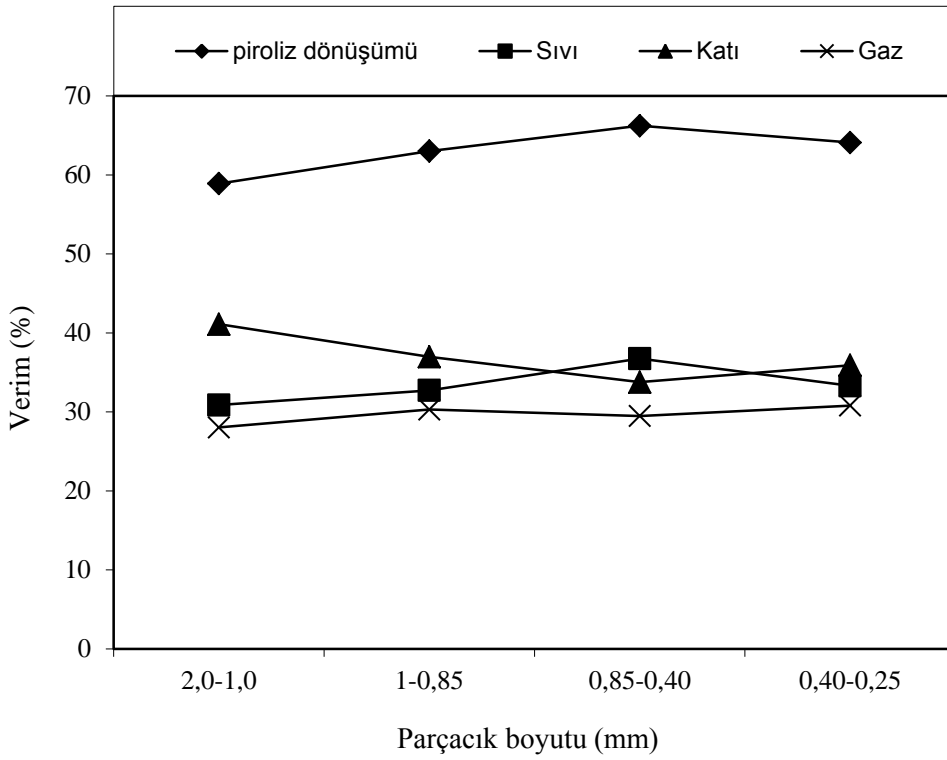
Şekil 46 de ise 500 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla %45,50, %42,50, %36,80, % 36,50 olarak belirlenmiştir.

Şekil 47 de ise 500 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla %43,10, %44,30, %35,90, % 36,10 olarak belirlenmiştir.

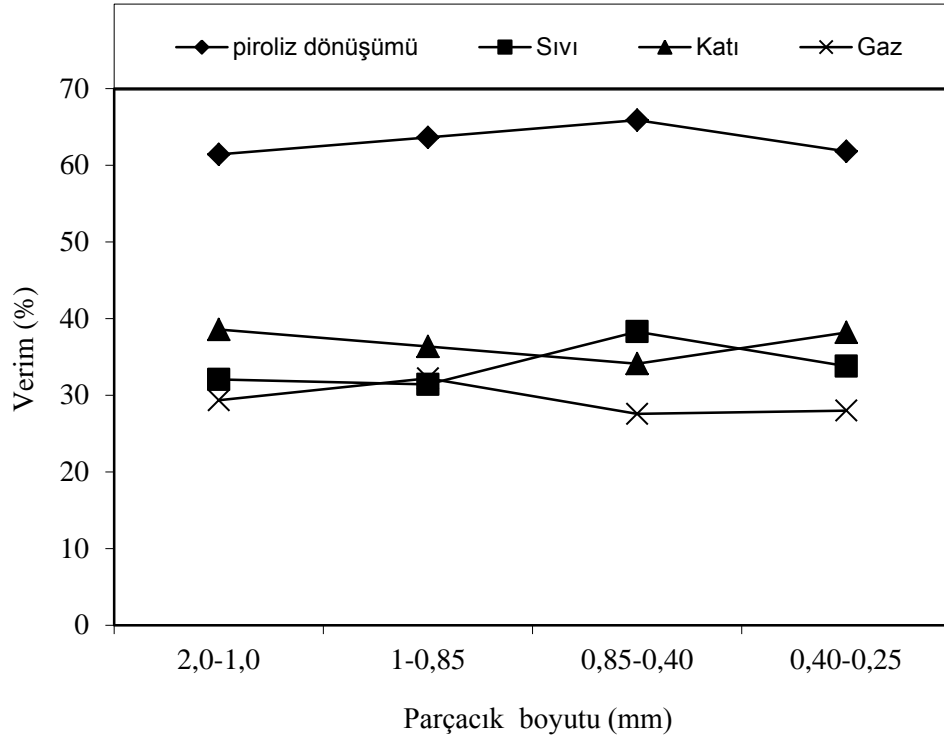




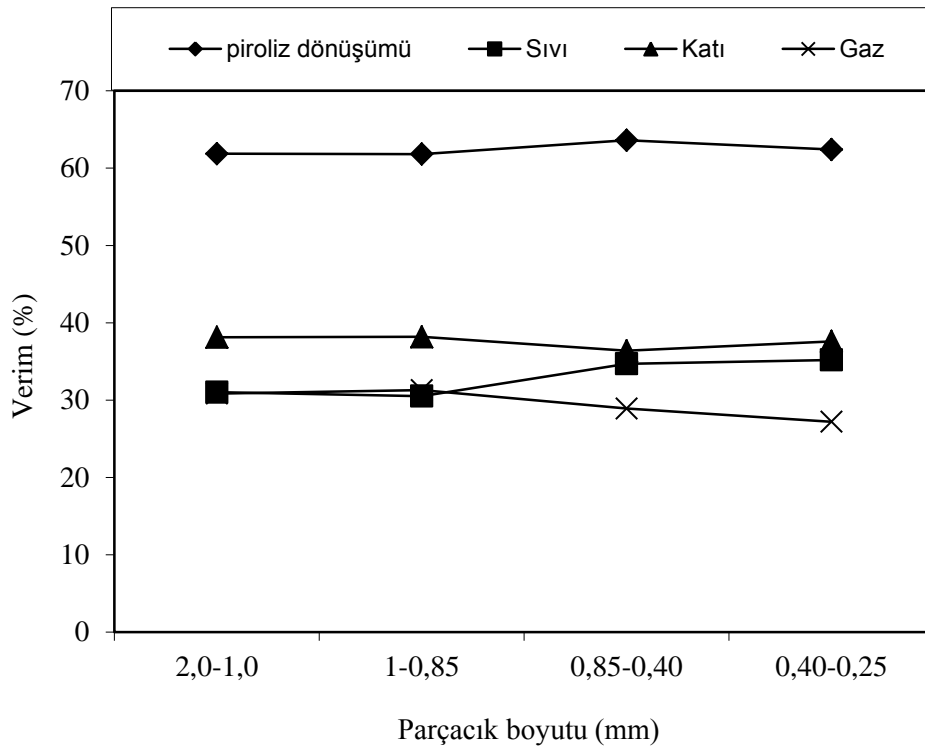
Şekil 48. 600 °C sıcaklıkta ve 100 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi



Şekil 49. 600 °C sıcaklıkta ve 200 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi



Şekil 50. 600 °C sıcaklıkta ve 300 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi



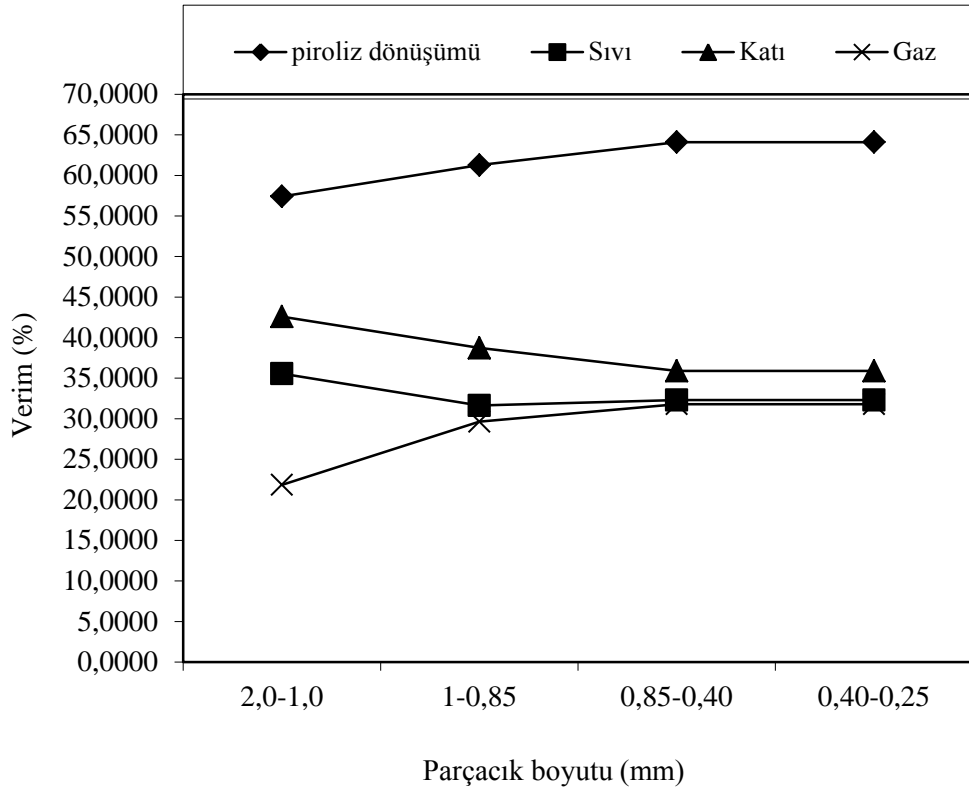
Şekil 51. 600 °C sıcaklıkta ve 400 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi

Piroliz ürün verimi üzerine parçacık boyutunun etkisinin incelendiği bu bölümde (Şekil 48-51) dört farklı piroliz sıcaklığı için de parçacık boyutunun değişmesiyle piroliz ürün verimlerinde belirgin bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Genel olarak hızlı piroliz de kullanılan biyokütlenin parçacık boyutunun 2 mm den daha düşük olduğu durumlarda parçacık boyutunun değişmesi ürün verimini etkilememektedir. 600 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla %39,40, % 39,40, % 37,40 ve % 34,60 olarak belirlenmiştir.

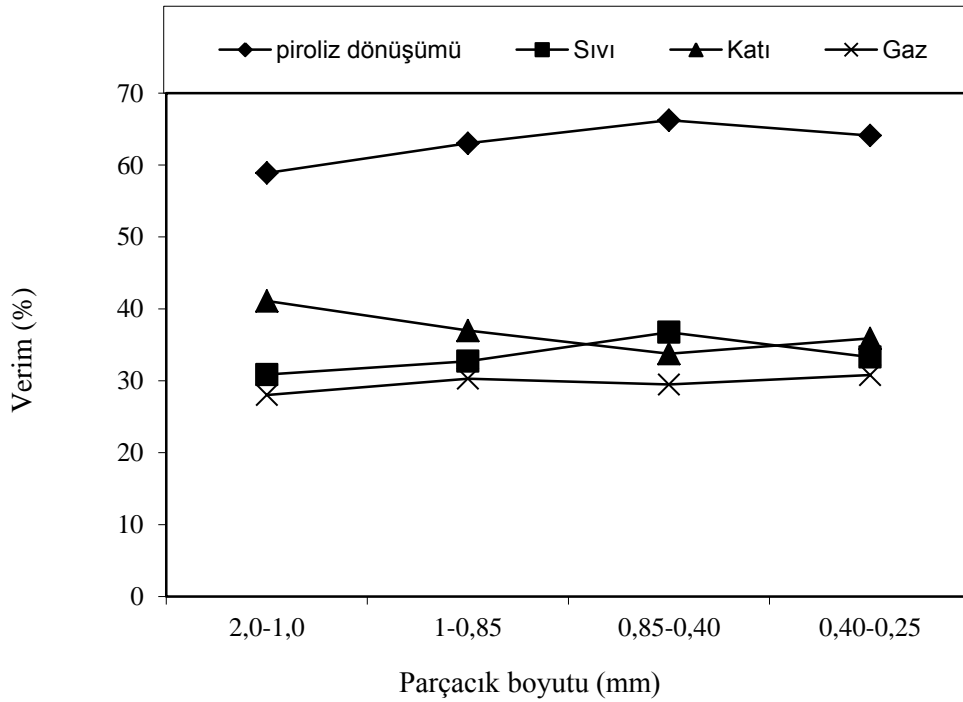
Şekil 49 de ise 600 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla %42,30, %43,10, %38,90, % 35,70 olarak belirlenmiştir.

Şekil 50 de ise 600 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla %42,40, %43,30, %40,30, % 34,78 olarak belirlenmiştir.

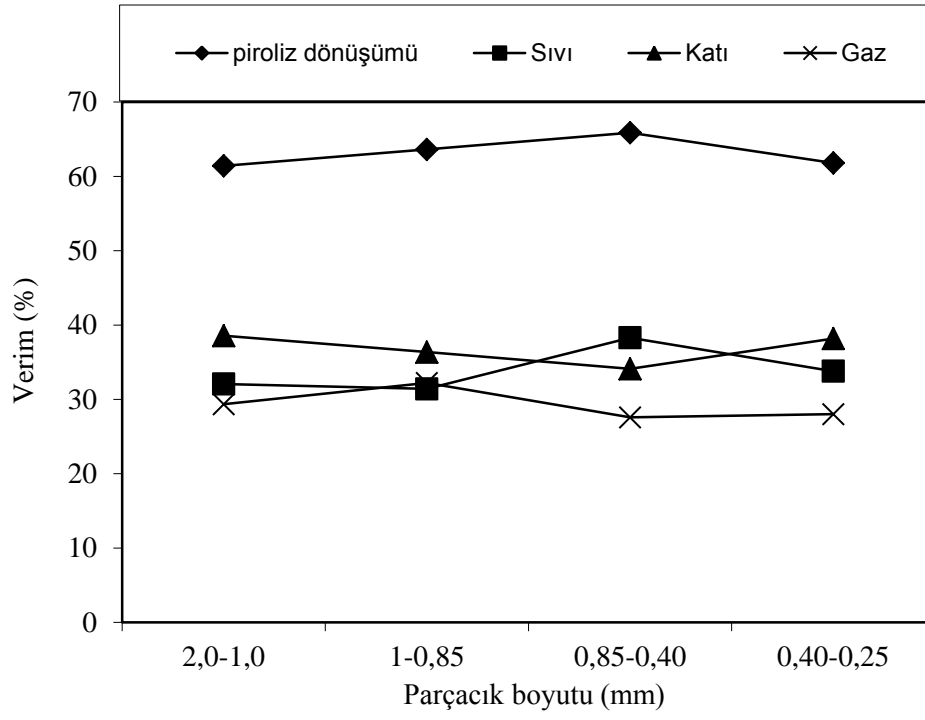
Şekil 51 de ise 500 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla %42,90, %42,90, %41,40, % 33,72 olarak belirlenmiştir.



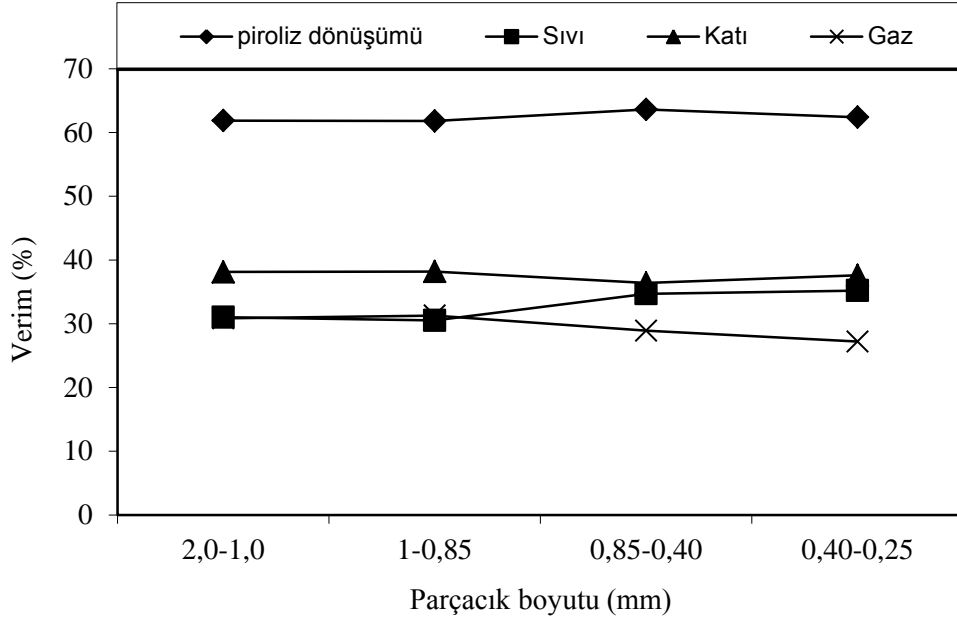
Şekil 52. 700 °C sıcaklıkta ve 100 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi



Şekil 53. 700 °C sıcaklıkta ve 200 mL/dak azot akış hızında sarmaşık ağacının pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi



Şekil 54. 700 °C sıcaklıkta ve 300 mL/dak azot akış hızında sarmışık ağacını pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi



Şekil 55. 700 °C sıcaklıkta ve 400 mL/dak azot akış hızında fındık kupulasını pirolizinde parçacık boyutunun ürün verimi üzerine etkisi

Piroliz ürün verimi üzerine parçacık boyutunun etkisinin incelendiği bu bölümde (Şekil 52-55) dört farklı piroliz sıcaklığı için de parçacık boyutunun değişmesiyle piroliz ürün verimlerinde belirgin bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Genel olarak hızlı piroliz de kullanılan biyokütlenin parçacık boyutunun 2 mm den daha düşük olduğu durumlarda parçacık boyutunun değişmesi ürün verimini etkilememektedir. Şekil 52’de 700 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla %33,20, % 31,50, % 30,60 ve % 27,80 olarak belirlenmiştir.

Şekil 53’de ise 700 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla %31,80, %32,90, %28,60, % 26,80 olarak belirlenmiştir.

Şekil 54’de ise 700 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla %30,10, %30,40, %27,30, % 27,20 olarak belirlenmiştir.

Şekil 55’de ise 700 °C sıcaklıkta  $2,00 < D_p < 1,00$  mm,  $1,00 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm parçacık boyutları için sıvı ürün verimleri sırasıyla % 28,80, %29,40, %26,90, % 27,50 olarak belirlenmiştir.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Biyokütle kaynağı olarak seçilen sarmaşık ağacının nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon içeriklerini ihitva eden kısa analiz sonuçlarına göre % 8,87 nem, % 0,57 kül, % 84,45 uçucu madde ve % 6,11 sabit karbon içerdiği belirlenmiştir. Sarmaşık ağacına uygulanan bu analizlere bakıldığı zaman sarmaşık ağacının literatür verileriyle kıyaslandığında nem ve kül içeriklerinin düşük olması nedeniyle biyokütle kaynağı için uygun bir hammadde olduğu tespit edilmiştir (Keleş, 2009).

Sarmaşık ağacının bileşen tayinleri yapıldı ve bu işlemler sonucunda numunenin %23,12 selüloz, % 58,98 holoselüloz, % 35,86 hemiselüloz, % 18,90 lignin ve % 12,68 organik ektrat içerdiği belirlenmiştir. Holoselüloz oranının yüksek olması deneyler sonucunda elde edilen piroliz sıvısının alifatik içeriğinin yüksek olması ve lignin içeriğinin yüksek olması ise aromatik içeriğin yüksek olması anlamına gelmektedir (Klas, 1998). Sarmaşık ağacından elde edilen bileşen analiz sonuçlarına bakıldığı zaman selüloz ve hemiselülozun toplamı olarak verilen holoselüloz miktarının yüksek olduğu ve lignin miktarının ise buna nazaran daha düşük oranlarda olduğu tespit edilmiştir.

Sarmaşık ağacına uygulanan elementel analiz sonuçlarına bakıldığı zaman, sarmaşık ağacının % 45,63'ünün karbon, % 5,86'nın hidrojen, % 0,80'inin azot ve % 47,71'inin oksijenden oluştuğu belirlenmiştir. Sarmaşık ağacının H/C oranı olan 1,54 değerine bakıldığında sıvı yakıt değerleri arasında olduğu için biyoyakıt olarak kullanılabilceği düşünülmektedir. O/C oranına bakıldığı zaman bu oran 0,78 olarak belirlenmiştir. Bu değer yakıt olarak kullanılan biyokütlelerin O/C oranlarına yakın olduğu belirlenmiştir. Fakat O/C oranının yüksek olması yakıtın enerji değerini düşmesine sebep olmaktadır (Bridgwater,2006).

Sarmaşık ağacının üst ısıl değeri 17,48 MJ/kg olarak belirlenmiştir. Bulunan bu sonuca bakıldığında enerji kaynağı olarak kullanılabilen çoğu biyokütlenin üst ısıl değerleri seviyesinde olduğu ve bu nedenle de sarmaşık ağacı biyokütle kaynağı olarak düşünülmüştür.

Deneyler için sarmaşık ağacı  $2,00 < D_p < 1 \text{ mm}$ ,  $1 < D_p < 0,850 \text{ mm}$ ,  $0,850 < D_p < 0,425 \text{ mm}$  ve  $D_p \leq 0,425 \text{ mm}$  parçacık boyutuna ayrıldı. Sürükleyici gaz akış hızı olarak 100, 200, 300 ve 400  $\text{cm}^3/\text{dak}$  seçildi ve piroliz sıcaklığı olarak da 400, 500, 600 ve 700  $^\circ\text{C}$  sıcaklıklar seçildi.

Yapılan deneylerin ilk grubunda piroliz ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisi incelenmiştir. Piroliz sıcaklığı, piroliz ürün verimlerini etkileyen en önemli parametrelerden biri olduğu için piroliz sıcaklığının değişmesi ile piroliz ürün verimi büyük oranda değiştirmektedir (Keleş, 2009). Piroliz ürün verimi üzerine yapılan deneyler dört farklı sürükleyici gaz akış hızında gerçekleştirildi ve sonuçlar 16 farklı grafikte verildi. Bu 16 grafik incelendiği zaman genel olarak piroliz sıvı ürün veriminin piroliz sıcaklığının 400 °C'den 500 °C'ye çıkmasıyla arttığı, 500 °C'den sonra ise genellikle azaldığı gözlemlendi. 100 cm<sup>3</sup>.dk<sup>-1</sup> azot akış hızında çizilen grafiklere göre en yüksek sıvı ürün verimi 500 °C'de % 41.96 ile 1-2 mm parçacık boyutunda, 200 cm<sup>3</sup>.dk<sup>-1</sup> azot akış hızında en yüksek sıvı ürün verimi 500 °C'de % 46.70 ile yine 1-2 mm parçacık boyutunda, 300 cm<sup>3</sup>.dk<sup>-1</sup> azot akış hızında en yüksek sıvı ürün verimi 500 °C'de % 45,50 ile 1-2 mm parçacık boyutunda ve son olarak 400 cm<sup>3</sup>.dk<sup>-1</sup> sürükleyici gaz akış hızında en yüksek sıvı ürün verimi 500 °C'de % 44,40 ile 1,00-0,850 mm parçacık boyutunda elde edildiği gözlemlendi. Bu sonuçlara bakıldığında en yüksek sıvı ürün verimine 500 °C'de ve 1-2 mm parçacık boyutunda % 46.70 ile ulaşıldığı gözlemlendi.

Piroliz ürün verimi üzerine sıcaklığın etkisinin araştırıldığı grafikler incelendiği zaman piroliz dönüşümünün her parçacık boyutunda ve her azot akış hızında sıcaklığın artması ile arttığı gözlemlendi. En yüksek piroliz dönüşümüne 0,850-0,425 mm parçacık boyutu ve 300 cm<sup>3</sup>/dak azot akış hızında % 83 ile 600 °C'de ulaşılmıştır. Bu sıcaklıkta piroliz dönüşümünün yüksek çıkmasının sıvı ve gaz ürün veriminin yüksek çıkmasından kaynaklandığı belirlenmiştir.

Piroliz dönüşümleri ve sıcaklıklardaki değişmelere paralel olarak katı ürün veriminin tüm deneylerde piroliz sıcaklığının artması ile azaldığı ve gaz ürün veriminin ise sıcaklığın yükselmesiyle sürekli olarak artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Katı ürün verimi piroliz sıcaklığı 400 °C de % 40 larda iken piroliz sıcaklığının 700 °C'ye çıkmasıyla %15 seviyelerine kadar azaldığı gözlemlenmiştir. Gaz ürün veriminin ise 400 °C'de % 21'lerden sıcaklığın 700 °C'ye çıkmasıyla %50'lere çıktığı belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen deneylerin ikinci aşamasında ise piroliz ürün verimi üzerine sürükleyici gaz akış hızının etkisi araştırıldı. En yüksek sıvı ürün verimine 500 °C piroliz sıcaklığında ve 1-2 mm parçacık boyutunda 200 cm<sup>3</sup>.dk<sup>-1</sup> sürükleyici gaz akış hızında % 46,70 ile ulaşıldı. Sürükleyici gaz akış hızının artması ile belli bir değere kadar sıvı ürün verimi artarken belli bir değerden sonra ise azot akış hızının artması ile sıvı ürün veriminin



azaldığı gözlemlendi. . Sürükleyici gaz akış hızının fazla olması piroliz buharlarının ikincil dönüşümlere maruz kalmadan direkt reaktör ortamından uzaklaştırılmasına neden olduğu için sıvı ürün verimini artırmaktadır. Fakat sürükleyici gaz akış hızının gereğinden fazla olması çıkan buharların soğutucu sistemde tamamen yoğuşmalarını zorlaştırmaktadır (Yaman, 2004). Katı ürün veriminin parçacık boyutuna bağlı olarak genellikle azot akış hızının artması ile düşük piroliz sıcaklıklarında arttığı, yüksek piroliz sıcaklıklarında ise sürükleyici gaz akış hızının artması ile azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni yüksek piroliz sıcaklıklarında oluşan piroliz buharlarının koklaşmaya fırsat vermeden yüksek sürükleyici gaz hızı nedeniyle ortamdan uzaklaşmalarıdır.

Üçüncü grup deneylerde; piroliz ürün verimi üzerine parçacık boyutunun etkisi incelemek amacıyla dört farklı parçacık boyutu kullanılmıştır ( $2,00 < D_p < 1$  mm,  $1 < D_p < 0,850$  mm,  $0,850 < D_p < 0,425$  mm ve  $D_p \leq 0,425$  mm). Yapılan denemeler sonucunda parçacık boyutunun küçülmesiyle piroliz dönüşümünün hemen hemen her sıcaklıkta arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin ise parçacık boyutunun küçülmesi ile reaktör içerisinde daha küçük boyutlarda bulunan parçacıkların ısıyla daha iyi temas ederek gaz ürün verimini arttırmaklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Hızlı piroliz deneylerinde 2 mm parçacık boyutuna kadar piroliz sıcaklığında artış gözlenirken, 2 mm parçacık boyutunun altına düşüldüğü zaman parçacık boyutunun değişmesiyle ürün veriminde net bir değişim olmadığı bilinmektedir (Açıkgöz vd., 2004). Deneylerimizde en yüksek sıvı ürün verimine 600 °C sıcaklıkta ve 1-2 mm parçacık boyutunda ulaştık. Parçacık boyutu 1 mm'nin altına düşünce biyokütle parçacıklarının ısıyla daha iyi temas etmeleri nedeniyle sıvı ürün veriminin nispeten azaldığı ve gaz ürün veriminin arttığı gözlemlenmiştir.

## 5. ÖNERİLER

Enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Enerjiye olan bu talebin artması sonucu çevre kalitesi de sürekli azalma eğilimindedir. Bu nedenle çevreye zararlı oldukları bilinen petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtların yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaları gerekmektedir.

Bu nedenle gerçekleştirilen bu çalışmada biz yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanımını inceledik. Bunun için sarmaşık odunu biyokütle örneği olarak seçildi ve bundan elde edilen piroliz ürünlerinin verimleri değişik deney şartlarında araştırıldı. Bu araştırmalar, laboratuvar ölçekli bir reaktörde gerçekleştirildiğinden endüstriye yönelik daha ileri çalışmalar için bu tip veya daha ileri düzeyde piroliz sistemleri sarmaşık gibi farklı biyokütlelerin enerji kaynağı olarak kullanılması için kullanılabilineceği düşünülmektedir.

Yapılan çalışmalarda sarmaşık ağacının enerji kaynağı olarak kullanılması için en ideal piroliz şartları belirlenmiştir. En iyi sıvı ürün verimini elde edebileceğimiz piroliz sıcaklığı, sürükleyici gaz akış hızı ve parçacık boyutu belirlendi. Sarmaşık ağacından değişik deneysel şartlarda elde edilen piroliz ürünlerinden sıvı ürünlerin içeriği daha ileri araştırmalarda incelenip, petrole alternatif sıvı yakıt olarak ve kimyasal madde eldesi için hammadde kaynağı olarak kullanılabilineceği düşünülmektedir.

Bu çalışmanın ileride yapılacak olan pirolizle ilgili çalışmalarımıza katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Daha farklı biyokütle kaynakları kullanılarak daha farklı piroliz sistemlerinde, örneğin ısıtma hızının, örnek ve reaktör duvarı arasındaki ısı transferinin ve reaktör şeklinin daha farklı olduğu sistemlerde sarmaşık ağacından elde edildiğinden daha iyi sıvı ürünler elde edilebileceği düşünülmektedir.

Elde edilen ürünlerin tamamı enerji döngüsünde kullanılması için bunların miktarlarının artırılması ve kalitelerinin iyileştirilmesi bu kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., 2007. Alternatif Enerji Kaynakları.Genişletilmiş 2. Baskı, Nobel Yayını Dağıtım, Ankara.
- Antonakou, E., Lappas, A., Nilsen, M.E., Bouzga, A.ve Stöcker, M., 2006. Evaluation of various types of AL-MCM-41 materials as catalysts in biomass pyrolysis for the production of bio-fuels and chemicals, Fuel, 85, 2202-2212.
- Ateş, F., Pütün, A. ve E., ve Pütün, E., 2005.Fixed bed pyrolysis of Euphorbia rigida with different catalysts,Energy Conversion and Management, 46 421 – 432.
- Ateş, F. ve Iřıkdađ M .A.,2008 Evaluation of the Role of the Pyrolysis Temperature in Straw Biomass Samples and Characterization of the Oils by GC/MS. Energy&Fuel , 22 1936 – 1943.
- Babu, BV., ve Chaurasia, A.S., 2004 Pyrolysis of biomass: improved models for simultaneous kinetics and transport of heat, mass and momentum. Energy Conversion and Management , 45, 1297-1327.
- Basu, P., 2006 Combustion and Gasification in Fluidized Beds, Taylor & Francis., New York.
- Basu, P., 2010 Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory. Academic Press, New York.
- Bilgen, S., Keleş, S.ve Kaygusuz, K., 2007 The role of biomass in greenhouse gas mitigation Energy Sources, Part A 29, 1243-1252.
- Bilgen, S., Keleş, S., Kaygusuz, A., Sarı, A., veKaygusuz, K., 2008. Global warming and renewable energy sources for sustainable development: a case study in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, 372-396.
- BP, 2011 British Petroleum. Statistical review of world energy. London, UK.
- Bridgwater, A.V.,vePeacocke, G.V.C., 1999. Fast pyrolysis processes for biomass, Renewable and Sustainable Energy Reviews 4, 1-73.
- Bridgwater, A.V., 2003. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. Chemical Energy 91, 87-102.
- Bridgwater, A.V.,ve Maniatis, K., 2004. The production of biofuels by the thermochemical processing of biomass, in “Molecular to global photosynthesis” by Archer, MD., Barber, J (Eds.), 521-611, Imperial College, UK.

- Boran, S., 2003. Antrakinon Kullanılarak veya Kullanılmadan Sülfat Yönteminin Etil Alkol veya Etilen Glikolle Modifiye Edilmesinin Hamur ve Kağıt Özellikleri Üzerine Etkisi Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Casey J.P., 1961. Pulp and Paper Second Edition, Interscience Publishers Inc., New York, 2.
- Chiaramonti D., Oasmaa A, ve Solantausta Y., 2007. Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11, 1056-1086.
- Debdoubi A., El amarti A., Colacio E, Blesa M J, ve Hajjaj L H., 2006. The effect of heating rate on yields and compositions of oil products from esparto pyrolysis. IntJ Energ 30, 1243 – 1250.
- DEKTMK, 2012. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. Türkiye Enerji Raporu 2011, Ankara, Türkiye
- Demiral, I., ve Sensoz S., 2008. Fixed-bed pyrolysis of hazelnut bagasse: influence of pyrolysis parameters on product yield, Energy Sources Part A 28, 1149-1158.
- Demirbaş, A., 2000. Mechanisms of liquefaction and pyrolysis reactions of biomass. Energy Conversion and management 41, 633-646.
- Demirbaş, A., ve Demirbaş, I., 2008. Importance of rural bioenergy for developing countries, Energy Convers Management 49, 1120-1133.
- Di Blasi, C., ve Signorelli, G., 1999. Di Russo, C., ve Rea, G., Product distribution from pyrolysis of wood and agricultural residues, Ind. Energy Chem. Res 38, 2216-2224.
- Di Blasi, C., 2008. Modeling chemical and physical processes of wood and biomass pyrolysis. Progress in Energy and Combustion Science 34, 47-90.
- ETKB, 2011. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Mavi Kitap, Ankara.
- ETKB, 2010. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2010 Yılı Enerji İstatistikleri, Ankara, Türkiye.
- Gerçel, HF., ve Pütün E., 2002. Fast pyrolysis on sunflower-press bagasse: Effect of sweeping gas flow rate. Energy Sources 24, 451-460.
- Hodge, BK., 2010. Alternative Energy Systems and Applications. John Wiley & Sons, New York. 2010.
- Hoogwijk, M., Faaij, A., Van den Broek, R., Berndes, G., ve Gielen, D. ve Turkenburg, W., 2003 Exploration of the ranges of the global potential of biomass for Energy, Biomass and Bioenergy, 25, 119-133.
- Hoogwijk, M., Faaij, A., Eickhout, B., de Vries, B., ve Turkenburg, W., 2005. Potential of biomass energy out to 2100 for four IPCC SRES land-use scenarios. Biomass and Bioenergy 29, 225-257.

- Huş, S., Tank, T. ve Göksel, E., 1975. Türkiye (Tarsus Karabucak)'de yetişen okaliptüs türü odunlarının morfolojik yönden etüdü ve yarıkimyaal selülozunun kağıt sanayinde değerlendirilme imkanları, TÜBİTAK Yayınları, 275.
- IEA, International Energy Agency (2007a). Bioenergy Project Development and Biomass Supply: Good Practice Guidelines, OECD/IEA, Paris.
- IEA, International Energy Agency, (2007b). Potential Contribution of Bioenergy to the Worlds Future Energy Demand, IEA Bioenergy, Paris, Fransa.
- IEA, 2010. International Energy Agency , Energy Technology perspectives: scenarios & strategies to 2050, OECD/IEA, Paris.
- IEA, 2009. International Energy Agency World Energy Outlook, IEA, Paris.
- IEA, 2008. International Energy Agency Renewables for heating and cooling: untapped potential, OECD/IEA, Paris.
- IEA, 2007. International Energy Agency. World Energy Outlook 2007, OECD/IEA, Paris.
- IEA, 2010. International Energy Agency. World Energy Outlook 2010, OECD/IEA, Paris.
- IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ioannidou O, Zabaniotou A, Antonakoi EV, Papazisi KM, Lappas AA, ve Attanassiou C., 2009. Investigating the potential for energy, fuel, materials and chemicals production from corn residues (cobs and stalks) by non-catalytic and catalytic pyrolysis in two reactor configurations. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 750-762.
- Kaygusuz, K., ve Keles, S., Use of Biomass as a Transitional Strategy to a Sustainable and Clean Energy System. Energy Sources Part A 31, 86-87.
- Kaygusuz, K., 2009. Bioenergy as clean and sustainable fuels. Energy Sources Part A 31, 1069-1080.
- Kaygusuz, K., 2010. Climate change and biomass energy for sustainability. Energy Sources Part B 5, 2010 133-146.
- Keles, S., Kaygusuz, K., ve Akgun, M., 2011. Pyrolysis of Woody Biomass for Sustainable Bio-oil. Energy Source Part A 33, 879-889.
- Klass DL., 1998. Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals. San Diego, Academic Press.
- Knoef, H. (Ed.), 2005 Handbook Biomass Gasification, Published by the Biomass Technology

- Group, European Commission, the Netherlands. ISBN 90-810068-1-9.
- Lim, MT., 2008. Alimuddin, Z. Bubbling fluidized bed gasification-performance, process findings and energy analysis. *Renewable Energy* 2008 33: 2339-2343.
- Mohan, D., Pittman CU., ve Steele PH., 2006. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical Review, *Energy Fuel* 20, 848-889.
- Oasmaa, A., Kuoppala, E., ve Solantausta, Y., 2003. Fast pyrolysis of forestry residue. 2. Physicochemical composition of product liquid, *Energy & Fuels* 17, 433-43.
- Onay O., 2007. Fast and catalytic pyrolysis of pistaciakhinjuk seed in a well-swept fixed bed reactor. *Energy & Fuels* 21, 1452 – 1460.
- Parikka, M., 2004 Global biomass fuel resources, *Biomass and Bioenergy* 27: 613-620.
- Pütün, E., Uzun, BB., Putun, AE., 2006. Production of bio-fuels from cottonseed cake by catalytic pyrolysis under steam atmosphere. *Biomass and Bioenergy* 30, 592-598.
- REN21, Renewable Energy Policy Network (2012) Renewables 2011: Global Status Report. available from [www.ren21.net](http://www.ren21.net), 05062012
- Rosillo-Calle, F., de Groot, P., Henstock, SL., Woods, J., 2007. The biomass assessment handbook: bioenergy for a sustainable environment. London, UK: Earthscan.
- Sensöz., S., 2003. Slow pyrolysis of wood barks from *Pinus Brutia* Ten and product compositions, *BioresourceTechnology* 89, 07–311.
- Shen, J., wand, X., Perez, M., ve Mourant, D., 2009. Effects of particle size on the fast pyrolysis of oil mallee woody biomass, *Fuel* 88, 1810-1817.
- Shuangning, X, Weinimg, Y., ve Li, B., 2005. Flash pyrolysis of agricultural residues using a plasma heated laminar entrained flow reactor. *Biomass and Bioenergy* 29, 135-141.
- Smeets, E., Faaij, A., Lewandowski, I., ve Turkenburg, W., 2007. A quickscan of global bioenergy potentials to 2050. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33, 56-106.
- Sims, REH (Ed.). 2003. Bioenergy options for a cleaner environment. London: Elsevier.
- Tsai WT, Lee MK, Chang YM., 2007. Fast pyrolysis of rice husk: Product yields and compositions. *BioresourceTechnol* 98: 22-28.
- Uzun, B.B., Pütün, A.E., ve Pütün, E., 2007. Fast pyrolysis of soybean cake: Product yields and compositions. *BioresourceTechnology* 97, 569-576.
- Uzun, B.B., Pütün, A.E., Pütün, E., 2007. Rapid pyrolysis of olive residue. 1. Effect of heat and mass transfer limitations on product yields and bio-oil compositions, *Energy & Fuels* 21, 1768-1776.

- Van Loo, S., ve Koppejan, J., 2007. The handbook of biomass combustion and co-firing, Erathscan London, UK.
- Wang, C., Du, Z., Pan, J., ve Li J., Yang, Z., 2001. Direct conversion of biomass to bio-petroleum at low temperature, J Analysis Applied Pyrolysis 78, 438 – 444.
- Wang, Y., ve Yan, L., 2008. CFD studies on biomass thermochemical conversion. Int. J. of Molecular Science 9, 1108-1130.
- WEC, 2008. World Energy Council. Survey of Energy Resources 2007: Bioenergy, WEC, 2007; available from [www.worldenergy.org/publications](http://www.worldenergy.org/publications), verified January 10.
- WEC, 2012. World Energy Council. Survey of Energy Resources 2010: Bioenergy, WEC, 2010; available from [www.worldenergy.org/publications](http://www.worldenergy.org/publications), verified January 10.
- Wereko-Brobby, CY., ve Hagan, EB. 1996 Biomass conversion and technology. New York, USA: John Wiley & Sons.
- Williams P.T, ve Nugranad N., 2000. Comparison of products from the pydolysis and catalytic of rice husks. Energy, 25: 493-513.
- Wright, L., 2006. Worldwide commercial development of bioenergy with a focus on energy crop-based projects. Biomass & Bioenergy 30, 706-714.
- WWI, 2007. WorldWatch Institute. Biofuels for Transport: Global Potential and Implications for Energy and Agriculture, ISBN: 1844074226, EarthScan, UK.
- Yanik, J., Kornmayer, C., Saglam. M., ve Yüksel, M., 2007. Fast Pyrolysis of Agricultural Wastes: Characterization of Pyrolysis Products, FuelProcessTechnology 88, 942-947.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1985 yılında İstanbul'da doğdu.ilk ve orta öğretimini İstanbul'da tamamladı.2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nden Kimyager Ünvanı ile mezun oldu.2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü,kimya Anabilim Dalı ,Fiziko Kimya Dalında Yüksek lisans öğrenimine başladı.İyi derecede ingilizce bilmektedir.