

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEŞİTLİ BİYOKÜTLE NUMUNELERİNİN YANMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kim. Müh. Meltem METEOĞLU**

Anabilim Dalı: KİMYA MÜHENDİSLİĞİ

Programı: KİMYA MÜHENDİSLİĞİ

ŞUBAT 2006

**ÇEŞİTLİ BİYOKÜTLE NUMUNELERİNİN YANMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kim. Müh. Meltem METEOĞLU
(506021002)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Şubat 2006**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sadriye KÜÇÜKBAYRAK
Doç. Dr. Hanzade AÇMA
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Ayşe AKSOY
Prof.Dr. Sibel ÖZDOĞAN (M.Ü.)**

ŞUBAT 2006

ÖNSÖZ

Çalışmalarımın her aşamasında büyük destek ve yardımlarını gördüğüm, değerli fikir ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve bana bu konuda çalışma olanağı sağlayan, samimiyet ve iyi niyet çerçevesinde çalışmayı ilke edinmiş çok değerli hocalarım Doç.Dr. Hanzade AÇMA'ya ve Prof.Dr. Sadriye KÜÇÜKBAYRAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımdaki yardımlarından dolayı Doç.Dr. Serdar YAMAN'a, öneri ve yardımlarıyla bana fazlasıyla destek olan Ar.Gör. Didem ÖZÇİMEN'e, Tuğhan ANIŞ'a ve biricik dostum Zerrin ÖZGE'ye teşekkür ederim.

Bu çalışmada kullanılan biyokütle numunelerinin temin edilmesindeki katkılarından dolayı, Koska Merter Helva San. ve Tic.A.Ş.'ye, Tekel Nevşehir Şarap Fabrikası'na, Doğu Çay A.Ş.'ye, Tamek Meyve Suları A.Ş.'ye, Dimes Gıda San ve Tic.A.Ş.'ye, Kar Gıda A.Ş.'ye, Gökbayrak Gıda Maddeleri Tic.ve San. A.Ş.'ye, Cargill Türkiye A.Ş.'ye, Efes Pilsen Anadolu Endüstri Holding A.Ş.'ye, Kafkas Pasta Şekerleme San.ve Tic. A.Ş.'ye, Tekel Maltepe Sigara Fabrikası'na teşekkürlerimi sunarım.

Canım aileme ve tüm yakınlarıma, her zaman yanımda oldukları için sonsuz teşekkürler ediyorum.

Aralık, 2005

Meltem METEOĞLU

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	x
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. BİYOKÜTLE ENERJİSİ	3
2.1. Türkiye'de Biyokütle Enerjisi	5
2.2. Türkiye'nin Biyokütle Çeşitleri ve Atık Potansiyelleri	8
2.2.1. Tarımsal Atıklar	8
2.2.2. Hayvansal Atıklar	9
2.2.3. Kentsel Atıklar	9
2.2.3.1 Çöpler	9
2.2.3.2. Kanalizasyon Çamuru	9
2.2.4. Gıda ve Diğer Endüstri	9
2.2.4.1. Mezbaha Atıkları	9
2.2.4.2. Süt İşletmelerindeki Atıklar	10
2.2.4.3. Meyve ve Sebze İşletmeleri	10
2.2.4.4. Yağ Endüstrisi	10
2.2.4.5. Şeker Endüstrisi	10
2.2.4.6. Alkollü İçecekler Endüstrisi	11
2.2.5. Diğer Endüstriler	11
2.2.6. Orman Atıkları	11
2.3. Dünyada Biyokütle Enerjisi	11
2.4. Biyokütlenin Yapısı	12
2.4.1. Selüloz	13
2.4.2. Hemiselüloz	14
2.4.3. Lignin	16
2.4.4. Ekstraktif maddeler	17
2.5. Biyokütlenin Yanması	18
2.5.1. Biyokütlenin Yanma Kademeleri	18
2.5.2. Emisyonlar	22
2.5.3. Biyokütle Yakma Sistemleri	24

2.5.3.1. İleri Yakma Sistemleri	28
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	31
3.1. Kullanılan Biyokütle Numunelerinin Tanıtılması	31
3.2. Biyokütle Numunelerine Uygulanan Analizler	32
3.3. Kullanılan Termogravimetrik Analiz Sisteminin Tanıtılması	33
3.4. TG Deneylerinin Çalışma Koşulları	34
4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ	35
4.1. Biyokütle Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları	35
4.1.1. Tahıl Kabuğu Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları	36
4.1.2. Bitki Sapı Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları	37
4.1.3. Sert Yemiş Kabuğu Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları	38
4.1.4. Meyve Çekirdeği Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları	39
4.1.5. Meyve Posası Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları	40
4.1.6. Ağaç Artığı Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları	41
4.1.7. Yağlı Küspe ve Tohum Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları	42
4.1.8. Tarımsal Sanayi Artığı Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları	43
4.2. Biyokütle Numunelerinin Isıl Değer Ölçüm Sonuçları	44
4.3. Biyokütle Numunelerinin Elementel Analiz Sonuçları	46
4.4. Biyokütle Numunelerinin Yapısal Analiz Sonuçları	54
4.5. Biyokütle Numunelerinin Yanma Deney Sonuçları	59
4.6. Genel Sonuçlar	80
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	87

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1.	Bazı tarım ürünlerinin Türkiye'deki yıllık üretim potansiyelleri ... 6
Tablo 2.2.	Türkiye'deki biyokütle kuru atık potansiyelleri 7
Tablo 2.3.	Türkiye'de üretilen ve tüketilen enerji kaynaklarının dağılımı 7
Tablo 2.4.	Türkiye'de yapımı tamamlanan biyokütle ve atık yakıt kullanılan kojenerasyon tesisleri 8
Tablo 2.5.	Ekimolar miktarlardaki azot ve oksijenden oluşan NO konsantrasyonları 23
Tablo 3.1.	Biyokütle numunelerinin yetiştiği yöreler ve kodları 31
Tablo 4.1.	Tahıl kabuğu numunelerinin kısa analiz sonuçları 37
Tablo 4.2.	Bitki sapı numunelerinin kısa analiz sonuçları 38
Tablo 4.3.	Sert yemiş kabuğu numunelerinin kısa analiz sonuçları 39
Tablo 4.4.	Meyve çekirdeği numunelerinin kısa analiz sonuçları 40
Tablo 4.5.	Meyve posası numunelerinin kısa analiz sonuçları 41
Tablo 4.6.	Ağaç artığı numunelerinin kısa analiz sonuçları 42
Tablo 4.7.	Yağlı küspe ve tohum numunelerinin kısa analiz sonuçları 43
Tablo 4.8.	Tarımsal sanayi artığı numunelerinin kısa analiz sonuçları 44
Tablo 4.9.	Biyokütle numunelerinin ısı değer ölçüm sonuçları 45
Tablo 4.10.	Tahıl kabuğu numunelerinin elementel analiz sonuçları 47
Tablo 4.11.	Bitki sapı numunelerinin elementel analiz sonuçları 48
Tablo 4.12.	Sert yemiş kabuğu numunelerinin elementel analiz sonuçları..... 48
Tablo 4.13.	Meyve çekirdeği numunelerinin elementel analiz sonuçları 49
Tablo 4.14.	Meyve posası numunelerinin elementel analiz sonuçları 49
Tablo 4.15.	Ağaç artığı numunelerinin elementel analiz sonuçları 49
Tablo 4.16.	Yağlı küspe ve tohum numunelerinin elementel analiz sonuçları ... 50
Tablo 4.17.	Tarımsal sanayi artığı numunelerinin elementel analiz sonuçları ... 50
Tablo 4.18.	Bazı biyokütle bileşenlerinin karbon içerikleri 51
Tablo 4.19.	Biyokütle numunelerinin yapısal analiz sonuçları (% kuru temelde) 55
Tablo 4.20.	Biyokütle numunelerinin yanma özellikleri 71

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Odun mikroelyafının yapısal modeli	13
Şekil 2.2 : Selülozun yapısı.....	14
Şekil 2.3 : Hemiselülozu oluşturan birimler	15
Şekil 2.4 : Hemiselülozun genel yapısı	15
Şekil 2.5 : Ligninin yapısı	16
Şekil 2.6 : Teorik alev sıcaklığının odunun nemine ve hava fazlasına bağlı olarak değişimi	19
Şekil 2.7 : Selülozun yanma ürünleri	21
Şekil 2.8 : Ligninin yanma ürünleri	22
Şekil 3.1 : TG ünitesinin kesiti	33
Şekil 4.1. : Biyokütle numunelerinin toplam organik madde içerikleri ile alt ısıl değerlerinin değişimi.....	46
Şekil 4.2. : Biyokütle numunelerinin alt ısıl değerlerinin, karbon+hidrojen içerikleriyle değişimi	52
Şekil 4.3. : Biyokütle numunelerinin oksijen içeriklerinin alt ısıl değerlerine etkisi	53
Şekil 4.4. : Tahıl kabuğu numunelerinin oksijen içeriklerinin alt ısıl değerlerine etkisi	53
Şekil 4.5. : Biyokütle numunelerinin lignin içeriklerinin alt ısıl değerlerine etkisi	56
Şekil 4.6. : Tarımsal sanayi artığı numunelerinin lignin içeriklerinin alt ısıl değerlerine etkisi	56
Şekil 4.7. : Biyokütle numunelerinin lignin ve sabit karbon içeriklerinin ilişkisi	57
Şekil 4.8. : Yağlı küspe ve tohum numunelerinin lignin ve sabit karbon içeriklerinin ilişkisi	58
Şekil 4.9. : Biyokütle numunelerinin lignin ve karbon içeriklerinin ilişkisi	58
Şekil 4.10. : Yağlı küspe ve tohum numunelerinin lignin ve karbon içeriklerinin ilişkisi	59
Şekil 4.11. : Bakla iç kabuğu numunesinin ağırlık kayıplarının sıcaklıkla değişimi ve yanma profili	60
Şekil 4.12. : Bezelye sapı numunesinin ağırlık kayıplarının sıcaklıkla değişimi ve yanma profili	61
Şekil 4.13. : Badem kabuğu numunesinin ağırlık kayıplarının sıcaklıkla değişimi ve yanma profili	63
Şekil 4.14. : Erik çekirdeği numunesinin ağırlık kayıplarının sıcaklıkla değişimi ve yanma profili	64
Şekil 4.15. : Şeftali posası numunesinin ağırlık kayıplarının sıcaklıkla değişimi ve yanma profili	66

Şekil 4.16.	: Dişbudak numunesinin ağırlık kayıplarının sıcaklıkla değişimi ve yanma profili	67
Şekil 4.17.	: Soya küspesi numunesinin ağırlık kayıplarının sıcaklıkla değişimi ve yanma profili	69
Şekil 4.18.	: Çay numunesinin ağırlık kayıplarının sıcaklıkla değişimi ve yanma profili	70
Şekil 4.19.	: Biyokütle numunelerinin uçucu madde içeriği ile tutuşma sıcaklığı ilişkisi	72
Şekil 4.20.	: Tahıl kabuğu numunelerinin uçucu madde içeriği ile tutuşma sıcaklığı ilişkisi	72
Şekil 4.21.	: Biyokütle numunelerinin uçucu madde içeriği ile maksimum yanma hızı ilişkisi	73
Şekil 4.22.	: Sert yemiş kabuğu numunelerinin uçucu madde içeriği ile maksimum yanma hızı ilişkisi	73
Şekil 4.23.	: Biyokütle numunelerinin sabit karbon içeriği ile maksimum yanma hızı ilişkisi	75
Şekil 4.24.	: Sert yemiş kabuğu numunelerinin sabit karbon içeriği ile maksimum yanma hızı ilişkisi	75
Şekil 4.25.	: Biyokütle numunelerinin sabit karbon içeriği ile tutuşma sıcaklığının ilişkisi	76
Şekil 4.26.	: Yağlı küspe ve tohum numunelerinin sabit karbon içeriği ile tutuşma sıcaklığının ilişkisi	76
Şekil 4.27.	: Biyokütle numunelerinin ekstraktif madde içeriği ile tutuşma sıcaklığı ilişkisi	77
Şekil 4.28.	: Tahıl kabuğu numunelerinin ekstraktif madde içeriği ile tutuşma sıcaklığı ilişkisi	78
Şekil 4.29.	: Biyokütle numunelerinin ekstraktif madde içeriği ile yanma süresi ilişkisi	78
Şekil 4.30.	: Sert yemiş kabuğu numunelerinin ekstraktif madde içeriği ile yanma süresi ilişkisi	79
Şekil 4.31.	: Biyokütle numunelerinin holoselüloz içeriği ve maksimum yanma hızı ilişkisi	79
Şekil 4.32.	: Sert yemiş kabuğu numunelerinin holoselüloz içeriği ve maksimum yanma hızı ilişkisi	80

ÇEŞİTLİ BİYOKÜTLE NUMUNELERİNİN YANMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Enerji sosyal yapıyı geliştiren, ekonomiyi ayakta tutan, uygarlığın gelişiminin bir ölçüsüdür. Dünya nüfusunun hızla artışı ve gelişmekte olan teknolojinin sonucu olarak, enerji ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır.

Günümüzde kullandığımız enerjinin büyük çoğunluğu hızla tüketilmekte olan fosil yakıtlara (kömür, petrol, doğal gaz) dayanmaktadır. Fosil yakıtlar sınırlı rezervlere sahiptir ve yakın gelecekte tükenecektir.

Biyokütle enerjisi, dünyanın enerji gereksinimini çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir şekilde sağlayabilecek kaynakların en önemlilerinden birisidir.

Bitkisel yaşam, güneş varolduğu sürece devam edeceğinden, biyokütle tükenmez bir enerji kaynağıdır ve bütün dünyada önemli bir yenilenebilir, temiz ve ucuz enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir.

Biyokütle yakıtlarının kullanımı çevre söz konusu olduğunda, önemli yararlar sağlamaktadır. Biyokütle, büyümesi sırasında karbondioksidi absorblarken, yanması sırasında da yaymaktadır. Bu nedenle, biyokütle atmosferik karbondioksit çevrimine yardımcı olmakta ve sera gazı oluşumuna katkıda bulunmamaktadır. Ayrıca, biyokütlenin düşük kükürt içeriği, fosil yakıtlarla kıyaslandığında ihmal edilebilir düzeydedir.

Biyokütle, petrolün yerini tutabilecek yenilenebilir tek organiktir. Biyokütle enerjisi, dünyadaki yenilenebilir enerji kullanımının yaklaşık üçte ikisini karşılamakta ve enerji eldesinde giderek artan önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, gelişen dünyadaki biyokütle kullanımının çoğu verimsizdir, hatta çevreyi kirletmektedir. Bu nedenle çevrenin korunmasında ve enerji geri kazanımında yararlı olan biyokütle teknolojilerinin geliştirilmesi, dönüşüm teknolojileri konusunda detaylı araştırmalarla mümkündür.

Bu çalışmada, biyokütlenin yanma özelliklerini incelemek amacıyla Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden toplanmış, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip numuneler ile çalışılmıştır.

39 adet biyokütle numunesinin yanma profilleri termogravimetrik analiz kullanılarak elde edilmiştir. Biyokütle numunelerinin yanma profillerinden yararlanılarak; tutuşma sıcaklığı, yanma süresi, maksimum yanma hızı ve maksimum pik sıcaklığı gibi yanma özellikleri saptanmıştır.

Isıl değer, elementel analiz, kısa analiz, ekstraktif madde, holoselüloz, alfa selüloz, lignin analizleri gerçekleştirilmiş ve yanma özelliklerine etkileri incelenip tartışılmıştır.

Biyokütle numunelerinin yanma profilleri birbirinden önemli farklılıklar göstermektedir. Tutuşma sıcaklıkları 343-441K, yanma süreleri 38-70 dakika, maksimum yanma hızı 4.3-10.7 mg/dak ve bu hızın gerçekleştiği sıcaklık 436-534K arasında değişmektedir. Biyokütelerin uçucu madde, sabit karbon, ekstraktif madde ve holoselüloz içerikleri yanma özelliklerini belirleyici rol oynamaktadır.

EXAMINATION OF COMBUSTION PROPERTIES OF SOME BIOMASS SAMPLES

SUMMARY

Energy is the measurement of civilization improvement that develops the social structure and keeps the economy alive. The need for energy has been increasing continuously as a result of the rapid increase of the world population and developing technology.

Most of the energy we use today is based on fossil fuels-coal, oil, and natural gas that are being consumed rapidly. Moreover they have limited reserves and will be depleted in the near future.

Biomass energy is one of the most important sustainable source of energy that can provide the energy requirement without polluting the environment of the world.

As the vegetal life will keep on throughout the sun exists, biomass is an endless source of energy and it is evaluated as a clean, cheap and renewable source of energy in all over the world.

The use of biomass fuels provides substantial benefits as far as the environment is concerned. Biomass absorbs carbon dioxide during growth, and emits it during combustion. Therefore, biomass helps the atmospheric carbon dioxide recycling and does not contribute to the greenhouse effect. Furthermore, the low sulphur content of biomass can be neglected in comparison to fossil fuels.

Biomass is also only an organic petroleum substitute that is renewable and biomass energy plays an increasingly significant role in the energy supply that accounts for roughly two-third of overall renewable energy usage in the world. However, most biomass usage in the developing world is inefficient and even environmentally damaging. Therefore, the development of clean and efficient biomass technologies that are beneficial to environmental protection and energy recovery, can be feasible by making detailed researches on biomass conversion technologies.

In this study, different biomass samples that were collected from various regions of Turkey and which had different physical and chemical properties were investigated in order to determine their combustion properties.

Burning profiles of 39 biomass samples were obtained through use of thermogravimetric analysis. Combustion properties like ignition temperature, burning time, maximum combustion rate and maximum peak temperature were determined using burning profiles of the biomass samples.

Heating values, elemental analysis, thermal analysis, analysis of extractives, holocellulose, alpha-cellulose and lignin were carried out and their effects on combustion properties were examined and discussed.

Burning profiles of biomass samples differ from each other significantly. Ignition temperatures, burning times, maximum combustion rates and maximum peak temperatures are changing between 343-441 K, 38-70 min., 4.3-10.7 mg/min and 436-534 K, respectively.

Contents of volatile matter, fixed carbon, extractives and holocellulose of biomass samples play a determinative role on combustion properties.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Dünyadaki enerji ve yakıt gereksinimlerinin büyük bir bölümünü 1800'li yılların ortaları gibi yakın zamana kadar karşılamış olan biyokütle, sanayileşmiş ülkelerde başlangıçta yavaş, daha sonra ise hızla yerini fosil yakıtlara terk etmeye başlamıştır. Gelişen teknoloji ve artan enerji ihtiyacı ile birlikte mevcut enerji kaynakları toplumların enerji ihtiyacını karşılamada yetersiz kalmakta ve yine bu enerji kaynaklarından üretim yapmak doğal yaşam ve çevreye zararlar vermektedir. Enerji; temiz, güvenli, ekonomik, ulaşılabilir, çevre ve insan sağlığını koruyan ve sürdürülebilir nitelikte olmalıdır. Dünyamızda enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık %4-5 oranında artmaktadır. Buna karşılık enerji ihtiyacını karşılayan fosil yakıt rezervi ise, hızlı bir şekilde azalmaktadır. Dünyanın giderek artan enerji gereksinimini çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir bir şekilde sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisi biyokütledir. Günümüzde biyokütle enerji teknolojileri son derece hızla gelişmekte ve biyokütle kullanımı her geçen gün artmaktadır. Biyokütleden kaliteli yakıt ve enerji üretimi amacıyla uygulanan termokimyasal proseslerin başlıcaları gazlaştırma, sıvılaştırma, piroliz ve yakma olmakla birlikte, ülkemizde biyokütle daha çok yakılarak değerlendirilmektedir. Uygun koşulların sağlanmadığı yakma sistemlerinin kullanılması, yakıtın değerlendirme verimini önemli ölçüde düşürmekte ve çevre kirliliğine yol açmaktadır. Biyokütle yakma sistemlerinin doğru tasarlanabilmesi ve en uygun yakma koşullarının seçilebilmesi için, biyokütlenin yanma özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Türkiye enerji kaynakları yeterli olmayan ve tükettiği enerjinin yarısından fazlasını ithal eden bir ülkedir. Yapılan tahminler ithalatın, önümüzdeki yıllarda giderek artacağını göstermektedir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ülkemizin enerji dengesi içinde önemli paya sahip değildir. Özellikle biyokütle enerjisinden geniş ölçüde yararlanma imkanına sahip olan ülkemiz, çok büyük bir biyokütle ve atık potansiyeline sahip olmasına rağmen,

bu potansiyeli enerjiye dönüştürmede yeterince başarılı olamamıştır. Yakıt fiyatlarının artması ve enerji kaynaklarının sınırlı oluu, mevcut kaynakların daha verimli kullanılmasını gerektirmektedir. Türkiye'nin petrol, kaliteli kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olmaları ve bu enerji kaynaklarının kullanımının önemli evre kirliliği problemlerine yol amaları nedeni ile biyokütlenin, bir enerji kaynağı olarak kullanılması giderek önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, ülkemizin enerji kaynakları içinde önemli bir paya sahip olan biyokütlenin değerlendirilebilmesi için Türkiye'nin farklı yörelerinden toplanan çeşitli biyokütle numunelerinin yanma özelliklerinin belirlenmesidir.

2. BİYOKÜTLE ENERJİSİ

Biyokütle, çevrede doğal olarak oluşan ve tekrarlanan kaynak akışının bir parçası olan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyokütle için çok çeşitli tanımlamalar yapılmaktadır. En çok tercih edilen tanımlamalar şunlardır [1-7]:

1. Biyokütle, canlı proseslerden üretilen biyolojik maddelerdir.
2. Belirli bir zaman, alan ya da hacim ölçüsünde toprak üstü ve altında yaşayan bitkisel ve hayvansal maddelerdir.
3. Ana bileşenleri karbonhidrat olan, bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddelere biyokütle denir.
4. Güneş enerjisinin fotosentez yolu ile bitkilerde depolanması ile ortaya çıkan tüm canlı organizmalar biyokütle olarak kabul edilir.
5. Güneş enerjisinin dolaylı şekline biyokütle denir.
6. Yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelen biyolojik kütle ve buna bağlı organik madde kaynaklarına ve biyolojik kökenli fosil olmayan organik maddelere biyokütle denir .

Bitkilerin fotosentezi sırasında kimyasal olarak, özellikle selüloz şeklinde depo edilen ve daha sonra çeşitli şekillerde kullanılabilen enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisinin biyokütle biçimindeki depolanmış enerjiye dönüşümü, insan yaşamı için esastır. Fotosentez yoluyla, enerji kaynağı olan organik maddeler sentezlenirken, tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijen de atmosfere verilir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO₂ salınımı açısından da korunmaktadır. Sonuç olarak, bitkiler yalnız besin kaynağı değil, aynı zamanda çevre dostu olan tükenmez enerji kaynaklarıdır [8].

Biyokütle, yenilenebilir ve çevre açısından tehlikeli olmayan bir enerji kaynağıdır. Biyokütle yakıldığında karbondioksit açığa çıkmasına rağmen, fotosentez sırasında karbondioksitin yeşil bitkilerce kullanılması, çevreyi sera etkisinden korumaktadır. Başka bir deyişle, biyokütle doğal karbon çevriminin bir parçasıdır.

Biyokütle yakıtları, ihmal edilebilecek derecede az kükürt içerir ve yakıldıkları zaman asit yağmurlarına neden olan kükürt oksitleri üretmezler. Biyokütlenin yakılmasıyla, kömürün yakılması sonucu elde edilen külden daha az miktarda kül elde edilir ve bu kül tarımsal amaçlar için toprakta katkı maddesi olarak kullanılabilir. Ayrıca, kentsel katı atıkların içerdiği biyokütlenin enerji üretimi için değerlendirilmesi belediyelerdeki atık yönetim problemini azaltmaktadır. Biyokütle evrensel bir kaynaktır ve dünyadaki fiyat dalgalanmalarını ya da ithal yakıtlarda görülen arz belirsizliklerini göstermemektedir. Bazı ülkelerde biyodizel ve etanol gibi sıvı biyoyakıtların kullanılması, ithal petrol ürünlerindeki ekonomik baskının azalmasına neden olmaktadır [9].

Biyokütleden enerji kaynağı olarak yararlanmada izlenen yollar şunlardır [9]:

- Nişasta, şeker, selüloz ve yağ içeren ekinlerin üretimi,
- Katı atıkların yakılması,
- Isı ve elektrik eldesinde kullanılan biyogazların üretimi,
- Etanol, metanol, biyodizel ve türevlerini içeren biyoyakıt üretimi.

Biyokütle türlerini; başlıca enerji bitkileri, tarımsal atıklar, su bitkileri, algler, şehirsal atıklar, biyo katılar olarak sınıflandırmamız mümkündür. Biyokütle türlerinin enerji kaynağı olarak kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri vardır.

Biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanımının olumlu yönleri [8]:

- Hemen her yerde yetiştirilebilmesi,
- Üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi,
- Her ölçekte verimli enerji üretimi için uygun olması,
- Düşük ışık şiddetlerinin yeterli olması,
- Depolanabilir olması,
- 5-35⁰C arasında sıcaklık gerektirmesi,
- Sosyo-ekonomik gelişmelerde önemli olması,
- Çevre kirliliği oluşturmaması,

- Sera etkisi oluşturmaması ve
- Asit yağmurlarına yol açmaması.

Biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanımının olumsuz yönleri [8]:

- Düşük çevrim verimine sahip olması,
- Tarım alanları için rekabet oluşturmaması,
- Düşük yoğunluklu, fazla hacimli olduğundan taşıma, depolama ve yakma sırasında sorunlara neden olması,
- Yanmayı engelleme, yanma sırasında yüksek enerji kaybı ve depolama sırasında çürüme gibi istenmeyen etkilere neden olan yüksek oranda nem içermesi ve
- Genellikle homojen olmaması.

2.1 Türkiye'de Biyokütle Enerjisi

Türkiye 28 milyon hektar ekilebilir topraklar, 8.5 milyon hektar ekonomik olarak sulanabilir alan ile büyük bir biyokütle potansiyeline sahiptir. Yapılan bir ön hesaplama göre, Türkiye'deki yıllık tarımsal ürün atığının miktarı 60 milyon ton civarındadır ve bunun yaklaşık 30-40 milyon ton'u enerji üretiminde kullanılabilir niteliktedir [10,11].

Türkiye'nin yıllık biyokütle potansiyeli 117 milyon ton veya 32 milyon TEP (milyon ton petrol eşdeğeri)'dir. Biyokütleden elektrik üretiminin geleceği, biyokütleye bağlı gazlaştırma/gaz türbin teknolojilerine bağlıdır; bunlar yüksek enerji dönüşümü sağlamaktadır [10,12].

2003 yılı verilerine göre, Türkiye kendi enerji kaynaklarından yıllık 23 812 bin TEP enerji üretmekte ve 64 034 bin TEP enerji tüketmektedir. 2020 yılında enerji üretiminin 78 milyon TEP'e çıkması beklenirken, enerji tüketiminin 310 milyon TEP olacağı tahmin edilmektedir. Türkiye'nin 2003 yılı sonu itibarıyla; 17 765 bin ton taşkömürü, 46 117 bin ton linyit, 544 bin ton kok, 1 715 bin ton petrokok, 14 491 bin ton odun, 5 439 bin ton hayvan ve bitki artıkları (bu artıkların tamamı konut ve hizmetlerde tüketilmektedir), 30 669 bin ton ham petrol, 2.14 milyar m³ doğalgaz, birincil enerji kaynağı potansiyeline sahiptir. Bu da Türkiye'nin giderek artan bir enerji ithalatına ihtiyaç duyacağı anlamına gelmektedir.

Türkiye, 32 milyon TEP/yıl biyokütle enerjisi, 31 000 MW/yıl jeotermal güç, 125 000 GWh/yıl hidrolik ve 50 TWh/yıl rüzgar gücü potansiyeline sahiptir. Bu nedenle Türkiye yenilenebilir enerjilere büyük önem vermelidir. [10,12,13].

Ülkemizde klasik biyokütle kaynaklarından olan odun ile bitki ve hayvan artıkları, uzun yıllardan beri, özellikle ısınma ve pişirme alanlarında kullanılmaktadır. Ancak, bu kullanım ilkel ve ekonomik olmayan biçimde gerçekleşmektedir.

Modern biyokütle kaynakları ise, enerji ormancılığı ürünleri ile orman ve ağaç endüstrisi atıkları, enerji (bitkileri) tarımı (bir yetiştirme sezonunda ürün alınan enerji bitkileri), tarım kesimindeki bitkisel ve hayvansal atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanır. Türkiye'deki tarımsal ürünlerin yıllık üretim potansiyellerinin bir kısmı Tablo 2.1'de verilmiştir.

Türkiye'nin biyokütle çeşitleri ve kuru atık potansiyelleri ise Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Bazı Tarım Ürünlerinin Türkiye'deki Yıllık Üretim Potansiyelleri [14]

Ürün Adı	Yıllık Üretim (ton/yıl)
Badem	50 000
Ceviz	136 000
Kayısı	517 000
Erik	200 000
Şeftali	460 000
Zeytin	1 800 000
Fındık	600 000
Kestane	50 000
Patates	5 250 000
Üzüm	3 850 000
Nohut	630 000
Yerfıstığı	80 000
Mısır	2 200 000
Pirinç	400 000
Susam	22 000
Ayçiçeği çekirdeği	570 000
Çay (Kuru)	150 000
Soya fasulyesi	75 000
Pamuk	922 000
Fasülye	460 000

Tablo 2.2: Türkiye’deki Biyokütle Kuru Atık Potansiyelleri [11]

TARIMSAL ATIKLAR	Miktar (ton/yıl)
Pirinç	198 000
Mısır	690 000
Tütün	44 000
Şeker kamışı	956 000
Pamuk	1 500 000
Ayçiçeği	3 750 000
Fındık	300 000
HAYVANSAL ATIKLAR	46 000 000
KENTSEL ATIKLAR	
Çöpler	2 200 000
Kanalizasyon çamuru	1 500 000
GIDA VE DİĞER ENDÜSTRİ	
Mezbaha atıkları	310 800
Süt işletmelerindeki atıklar	76 000
Meyve ve sebze işletmeleri	4 500
Yağ endüstrisi	56 100 000
Şeker endüstrisi	1 300 000
Alkollü içecekler	46 000
Diğer endüstriler (ağaç işleme..)	649 000
Orman atıkları	1 417 000

Biyokütle kolay yetiştirilebilir olması, özellikle kırsal bölgelerde sosyoekonomik hayatı olumlu yönde etkilemesi, çevrenin korunmasına katkıda bulunması, elektrik, kimyasal madde ve özellikle taşıtlar için yakıt üretiminde kullanılabilmesi nedeniyle Türkiye için stratejik bir enerji kaynağıdır. Türkiye’nin toplam enerji tüketiminin yaklaşık %10’u biyokütleden sağlanmaktadır. Türkiye’de tüketilen enerji kaynaklarının dağılımı Tablo 2.3’de verilmiştir [11].

Tablo 2.3: Türkiye’de Üretilen ve Tüketilen Enerji Kaynaklarının Dağılımı [11]

Toplam Enerji Üretimi		Sektörel Enerji Tüketimi		Konutlardaki Tüketim	
Kaynak	Oran (%)	Sektör	Oran (%)	Kaynak	Oran (%)
Petrol ve gaz	55.6	Yerleşim	23.9	Petrol ve gaz	28.2
Katı yakıtlar	29.1	Endüstri	27.4	Katı yakıtlar	18.8
Odun türleri	7.2	Ulaşım	17.4	Odun türleri	30.6
Hayvansal	1.2	Tarım	3.8	Hayvansal	15.4
Tarımsal	1.0	Diğer	27.5	Tarımsal	1.2
Hidroelektrik	5.9			Elektrik	5.8
Toplam	100	Toplam	100	Toplam	100

Türkiye’de son zamanlarda organik atık, biyokütle ve biyogazdan enerji eldesine yönelik kamu ve özel sektör yatırımları artmaya başlamıştır. Öncelikle Büyükşehir belediyeleri, çöp atıklarının çözümüne yönelik olarak, atık yakma ve enerji üretim tesisleri kurmaya başlamışlardır. Türkiye’de yapımı tamamlanan biyokütle ve atık yakıt kaynakları kojenerasyon tesisleri Tablo 2.4.’de verilmiştir.

Tablo 2.4: Türkiye’de Yapımı Tamamlanan Biyokütle ve Atık Yakıt Kullanılan Kojenerasyon Tesisleri [11]

NO	KURUM ADI	BÖLGESİ	YERİ	KAPASİTE (MW)	YAKIT TİPİ
1	Aksa Enerji	Bursa	Bursa	0.83	Çöp
2	Belka	Ankara	Ankara	3.20	Biogaz
3	İzaydaş	İzmit	Köseköy	5.40	Çöp
4	İstaç	İstanbul	Kemerburgaz	4.00	Çöp

2.2 Türkiye’nin Biyokütle Çeşitleri ve Atık Potansiyelleri

2.2.1 Tarımsal Atıklar

Pirinç: Türkiye’de pirinç üretiminden başta pirinç sapı olmak üzere %38 oranında atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar tarlalarda anız olarak yakılmaktadır [11].

Mısır: Türkiye’de mısır üretiminden başta mısır koçanı ve sap kısmı olmak üzere %34.5 oranında atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıklardan mısır koçanları, büyükbaş hayvan yemi olarak değerlendirilmekte, geri kalan sap kısımları ise tarlalarda anız olarak yakılmaktadır [11].

Tütün: Türkiye’deki yıllık tütün üretiminin yaklaşık % 17’si atık olarak ortaya çıkmaktadır. Tarlada kalan tütünün sap kısımları anız olarak yakılmakta, fabrika üretim atıkları ise yakılarak tüketilmeye çalışılmaktadır [11].

Pamuk: Türkiye’deki yıllık pamuk üretiminin yaklaşık %27’si atık olarak ortaya çıkmaktadır ve atıklar genellikle ısıtma amaçlı olarak yakılmaktadır [11].

Ayçiçeği: Türkiye’de yıllık 820 000 ton ayçiçeği üretimi olup, yağ üretiminden artakalan küspeler hayvan yemi olarak değerlendirilmekte, bitkinin sap kısımları ise atılmaktadır [11].

Fındık: Türkiye'nin yıllık fındık üretiminin yaklaşık %50'si atık olarak ortaya çıkmaktadır. Atıklar genellikle katı yakıt olarak kullanılmaktadır [11].

2.2.2 Hayvansal Atıklar

Türkiye hayvansal üretim açısından oldukça zengindir. Toplam hayvan sayısı yaklaşık olarak 67 179 000 kümes hayvanları, 55 589 000 koyun-keçi, 12 602 000 büyükbaş olarak verilmektedir. Koyun, keçi ve büyükbaş hayvanlardan elde edilen yıllık toplam kuru atık miktarı 46 000 000 ton olup, bu miktarın %10'u gübre olarak, %30'u mera alanlarında, %60'ı ise ısıtma ve yemek pişirme amaçlı kullanılmaktadır [11].

2.2.3 Kentsel Atıklar

2.2.3.1 Çöpler

Türkiye'de kentsel atıklara yönelik bir istatistik tutulmamaktadır. Ancak genel bir yaklaşımla kişi başına çöp miktarı günlük 500 g olarak alınabilir. Dolayısıyla bu yaklaşımdan yıllık atık miktarı yaklaşık 2 200 000 ton olarak hesaplanabilir [11].

2.2.3.2 Kanalizasyon Çamuru

Yerleşim bölgelerinden kaynaklanan atık sularındaki organik maddeler; proteinler, hidrokarbonlar ve yağlar olmak üzere üç sınıfta incelenebilir. Proteinler organik maddelerin %40-50'sini oluşturur. Kanalizasyondaki organik madde miktarı yıllık 1 500 000 ton olarak hesap edilebilir. Bu organik maddelerin önemli bir bölümü doğrudan denizlere veya kanalizasyon kanalına verilerek değerlendirilmeden atılır [11].

2.2.4 Gıda ve Diğer Endüstri

2.2.4.1 Mezbaha Atıkları

Orta ve büyükbaş hayvanlardan kaynaklanan yıllık toplam kuru atık madde miktarı 310 800 ton'dur [11].

2.2.4.2 Süt İşletmelerindeki Atıklar

Süt işletmelerinde elde edilebilecek en değerli atık peynir üretim prosesinde elde edilebilir. Bir kg peynir eldesi için ortalama 7.5 kg sıvı atık açığa çıkar. Yıllık atık miktarı ise 76 000 ton'dur. Bu atıkların protein içeriği yüksek olmasına rağmen, genellikle kanalizasyon sistemine verilmektedir [11].

2.2.4.3 Meyve ve Sebze İşletmeleri

Konservacilik: Konservacilik işletmelerinde yıllık yaklaşık 2300 ton kuru atık ortaya çıkmaktadır.

Meyve Suyu: Türkiye'de toplam 4 000 ton meyve suyu üretilmektedir. Bu üretimden 1 100 ton'u kuru olmak üzere, 4 500 ton atık ortaya çıkar. Bu atıklar yaş yem olarak satılır. Meyve çekirdekleri yakılarak değerlendirilmeye çalışılmaktadır.

Salça: Türkiye'nin yıllık salça üretimi 200 000 ton'dur. Bu üretimden ortaya çıkan atık miktarı 4 500 ton/yıl dır. Bu atıkların besin değeri yüksek olduğundan, çiftçilere yem olarak satılır [11].

2.2.4.4 Yağ Endüstrisi

Yaklaşık yılda 610 000 ton zeytinin yağ üretim amaçlı işlenmesi sonucunda 56 100 ton kuru atık elde edilir. Ayrıca, yılda 915 000 ton siyah zeytin suyu atılır. Zeytinyağı üretiminden kalan posa yakılmaktadır [11].

2.2.4.5 Şeker Endüstrisi

Şeker fabrikalarında işleme sonucunda yılda toplam 936 750 m³ atık elde edilir Bu atığın yaklaşık %40'ı kuru maddedir. Yani yılda 375 000 ton kuru atık elde edilir. Bu atıklar gübre amaçlı kullanılabilir olmasına rağmen, genellikle atılmaktadır. Toplam şeker pancarı üretimi 2 700 000 ton olup, tarlada bırakılan atık miktarı ise 956 000 ton'dur. Şeker fabrikalarında ise 1 300 000 ton posa üretilmektedir. Bu atıklar yaş yem amaçlı satılmaktadır [11].

2.2.4.6 Alkollü İçecekler Endüstrisi

Bir litre bira üretiminden yaklaşık 0.2 kg atık (%20-25 kadarı kuru) elde edilir. Bu madde posa olarak adlandırılır ve yem amaçlı olarak satılmaktadır. Bira üretim prosesinden yılda elde edilen toplam atık miktarı 13 000 tondur. Şarap üretiminden elde edilen atık miktarı yılda 500 ton, rakı üretiminden elde edilen atık miktarı ise 33 000 ton'dur. Şaraptan elde edilen posaların bir kısmı yem amaçlı satılırken, üzüm çekirdekleri yakılarak tüketilmeye çalışılmaktadır. Rakıdan elde edilenler ise atılmaktadır [11].

2.2.5 Diğer Endüstriler

Türkiye'de yılda yaklaşık 5 010 000 m³ endüstriyel ağaç işlenmekte olup, bu prosesten yılda 649 000 ton kuru ağaç atığı elde edilir. Bu ağaç atıkları ya yakılmakta ya da satılmaktadır [11].

2.2.6 Orman Atıkları

Türkiye'de yaklaşık 9 449 000 m³ tomruk işlenmekte olup, elde edilen toplam kuru atık miktarı ise 1 417 000 ton'dur. Bu atıklar genellikle orman arazisinde bırakılmaktadır [11].

2.3 Dünyada Biyokütle Enerjisi

Dünya nüfusunun artışına ve gelişen teknolojiye paralel olarak enerjiye olan talep sürekli artmaktadır. Dünyada enerji ihtiyacının %13–14'ü biyokütleden, %6'sı hidroelektrik, %5'i nükleer, %33'ü petrol, %24'ü kömür, %19'u doğal gazdan sağlanmaktadır [15]. Bununla birlikte, fosil enerji kaynak rezervlerinin sınırlı ve yakın bir gelecekte tükenecek olması, günümüzde alternatif enerji kaynaklarının değerlendirilmesi mecburiyetini ortaya çıkarmıştır. Dünyada birçok ülke tükenbilir enerji kaynakları yerine, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme çabası içine girmiştir.

Günümüzde biyokütle, Dünya nüfusunun dörtte üçünün yaşadığı gelişmekte olan ülkelerde en önemli enerji kaynağıdır. Biyokütle; her yerde yetiştirilebilmesi, çevrenin korunmasına katkısı, elektrik üretimi, kimyasal madde ve özellikle taşıt

araçları için yakıt elde edilebilmesi nedeniyle stratejik bir enerji kaynağı sayılmaktadır. Bu nedenle hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler için biyokütle büyük önem taşımaktadır [15].

Biyokütle geliştirmekte olan ülkelerin bu günkü enerji ihtiyacının yaklaşık olarak üçte birini karşılamaktadır. Bu oran Uganda ve Tanzanya gibi ülkelerde %90, Hindistan'da %45, Çin ve Brezilya'da %30, Meksika ve Güney Afrika'da ise %10-15 civarındadır. Bazı gelişmiş ülkeler de başlıca enerjilerinin önemli bir kısmını biyokütleden sağlamaktadırlar; bu ülkelerden A.B.D. enerji ihtiyacının %4'ünü, Avusturya %14'ünü, İsveç %18'ini, Finlandiya %20'sini biyokütleden karşılamaktadır [15].

2.4 Biyokütlenin Yapısı

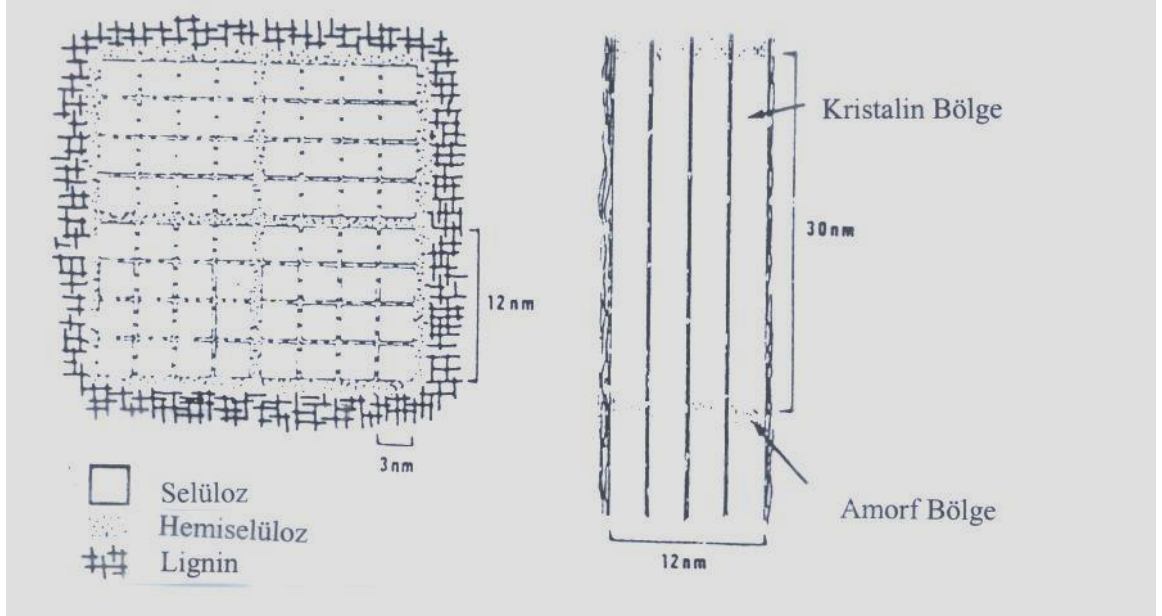
Bitkilerin ana yapısı yapraklardır. Yaprakların, suyu ve bitkinin gelişmesi için gereken maddeleri taşımak ve gıda maddelerini üretmek gibi temel fonksiyonları vardır. Yaprakların bu temel fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri güneş enerjisine bağlıdır. Bitkilerin taneli kısımlarında güneş enerjisinin % 10'u, ağaçlarda ise ancak %1'i ürünlere dönüştürülür. Yapraklar farklı oranlarda klorofil ve karotenoidler, karbonhidratlar, mineraller ve yağlar içerirler [16].

Biyokütlelerin temel bileşenlerini holoselüloz (selüloz+hemiselüloz), lignin ve ekstraktif maddeler oluşturur. Bunların oranları biyokütlenin türüne göre değişmektedir. Sert odunsularla, yumuşak odunsular arasında önemli farklar bulunmaktadır. Sert odunsular; selüloz, hemiselüloz ve ekstraktif maddelerce daha zengin; yumuşak odunsularda lignin oranı daha yüksektir [16].

Bitkiler mikro elyaflardan oluşmuşlardır. Bitkileri oluşturan her bir mikro elyaf 40 selüloz molekülünden oluşur ve selüloz molekülleri birbirlerine hidrojen bağı ile bağlanırlar. Bitkilerdeki mikro elyaflarda kristal yapılar birbirlerinden amorf yapılar ile ayrılırlar. Şekil 2.1'de mikro elyafların yapısı görülmektedir [16].

Selüloz mikro elyafları yaklaşık olarak 3.5 nm genişliğinde hemiselüloz ve lignin matrixi içinde bulunmaktadır. Ligninin kalınlığı bitkinin türüne göre farklılıklar göstermektedir.

Fengel tarafından mikro elyaf yapısı için önerilen modelde, selüloz elyaflarının, selülozdan daha küçük moleküllü olan hemiselüloz tarafından sarıldığı ve bu elyaflardan 64 tanesinin birlikte hemiselüloz ve ligninle sarıldığı şeklindedir [16]. Hemiselüloz, mikro elyafların yüzeyinde lignine kimyasal bağlarla bağlanır ve lignin, selüloz ve hemiselülozün şeker ve alkollere parçalanmasını engeller [16].



Şekil 2.1: Odun Mikroelyafının Yapısal Modeli [16]

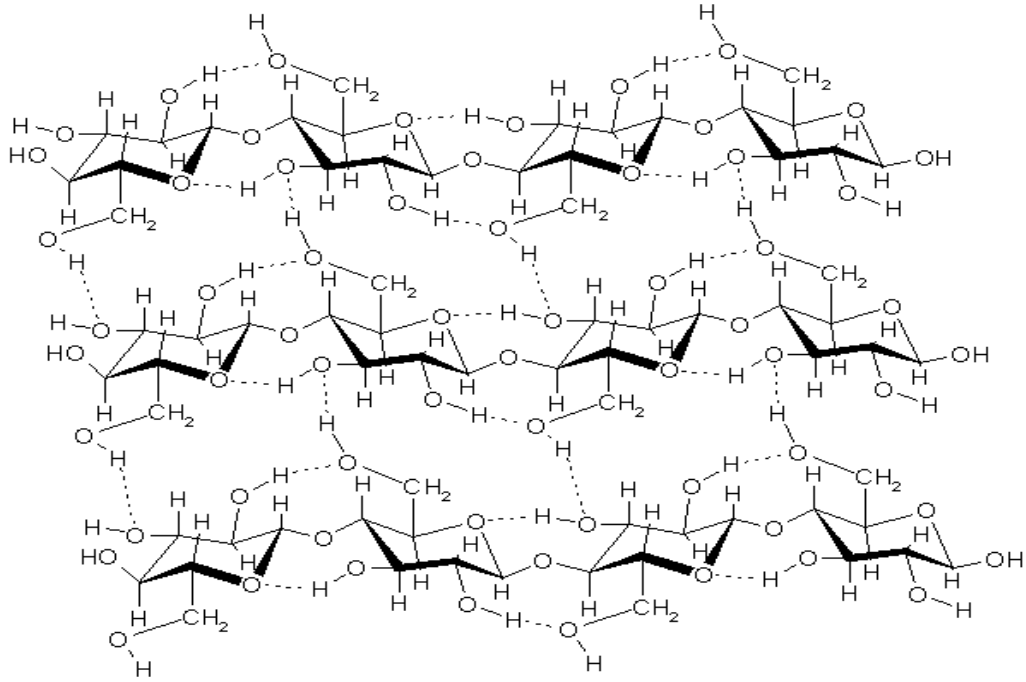
2.4.1 Selüloz

Selüloz, karbonun biyokütlede bulunan en genel bileşiğidir. Odunun ana bileşeni olup, doğada en bol bulunan yenilenebilir organik moleküldür. Selüloz; anhidroglukoz birimlerinden oluşan lineer bir polimerdir ve kuru odun kütlelerinin %40-50'sini oluşturur [Şekil 2.2].

Selülozun basit bir kimyasal yapısı vardır ve yaklaşık 10 000 β -1,4 bağlı D-glukopiranoz biriminden oluşan lineer bir polimerdir. Selülozun β -1,4 bağları büyük ölçüde karardır ve kimyasal etkilere karşı zincirler arasındaki çok sayıdaki hidrojen bağları nedeniyle dayanıklı bir yapıdadır. Selüloz zincirleri arasındaki hidrojen bağları, polimerleri daha sert yapar ve glikozidiklerin ayrışması esnasında meydana gelmesi gereken molekül esnekliğini azaltır [16]. Zincirleri birleştiren çok sayıdaki hidrojen bağları su tarafından kırılmazlar.

Sadece kuvvetli asit ve bazlar, konsantre tuz çözeltileri ve farklı çözeltiler selülozun şişmesini veya çözünmesini sağlayabilirler [17]. Selülozun % 18 NaOH çözeltisiyle muamelesinde bir kısmı çözünür. Bu alkalide çözünmeyen kısmına α -selüloz, çözeltiliye geçen kısmın asetik asit ilavesiyle çöken kısmına β -selüloz, ve asetik asit ile çökmeyip çözeltide kalan kısmına da γ -selüloz denilmektedir [18].

X ışınları kırınım yöntemi ile selülozun kısmen kristalsi (%45-65), kısmen de amorf (%35-55) bölgelerden ibaret olduğu anlaşılmıştır.

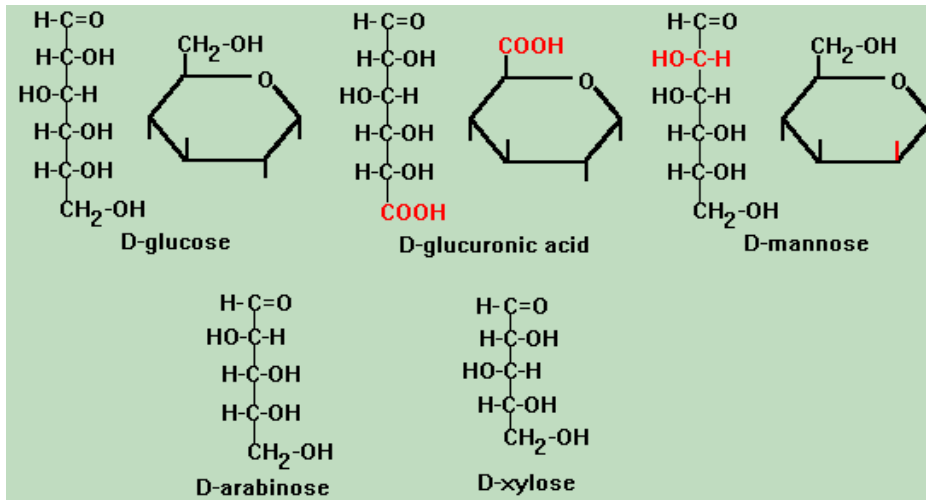


Şekil 2.2: Selülozun Yapısı [19]

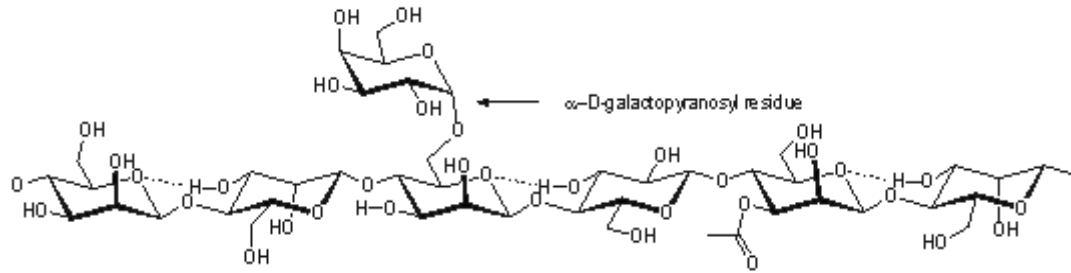
2.4.2 Hemiselüloz

Hemiselozlar da selüloz gibi glikoz birimleri içermekle birlikte, farklı pentoz ve heksoz monosakkaritleri de içerirler. Boyut açısından hemiselüloz zinciri, selüloza nazaran daha kısadır ve moleküler yapısı dallanmıştır. Hemiselüloz polisakkaritleri, kimyasal olarak selüloza benzerler. Omurga olarak β -1,4 bağlı büyük şeker birimlerine sahiptirler. Genel olarak çeşitli pentozlar (C_5 şekerleri: D-ksiloz, L-arabinoz gibi), heksozlar (C_6 şekerleri: D-galaktoz, D-glukoz ve D-mannoz gibi) ve üronik asitleri içeren heterojen polisakkaritlerdir [Şekil 2.3 ve 2.4]. Polimerizasyon dereceleri (100-200 birim) selülozdan daha düşüktür, ayrıca, daha kolay hidroliz olurlar.

Hemiselülozun selüloza nazaran daha amorf bir yapısı vardır ve molekül ağırlığı daha düşüktür; bu da yüksek çözünürlüğünü ve hidrolize olan duyarlılığını açıklamaktadır [17]. Ayrıca, kuvvetli baz ve asitlerle oldukça iyi çözünüp, daha kolay hidroliz olurlar. Hemiselülozun en sık rastlanan türü olan ksilen, 1 ve 4 pozisyonlarından bağlı D-ksiloz birimlerinden oluşurlar. Ksilen, doğal durumunda birlikte bulunduğu poliglukoronik asit ile yakından ilişkilidir ve dekarboksilasyon ile ondan üretilebilmektedir. Diğer hemiselülozlar; polimerik zincirde 30:70 oranlarındaki D-glukoz ve D-mannoz'dan oluşan glukomannaz ve polimerik zincirde 2:10:30 oranlarındaki D-galaktoz ve D-mannoz'dan oluşan galaktoglukomannaz'dır. Pentosanlar; mısır koçanlarında, mısır saplarında ve saman-kepek biyokütlelerinde büyük miktarda (%20-40) ortaya çıkarlar. Ksilenler, yumuşak odunlarda ve sert odunlarda numunenin kuru ağırlığının sırasıyla %10 ve %30'a varan oranlarda bulunurlar; oysa mannanlar kuru ağırlıkça yumuşak odunlarda yaklaşık %15 ve sert odunlarda % birkaç değerinde bulunurlar [20,21].



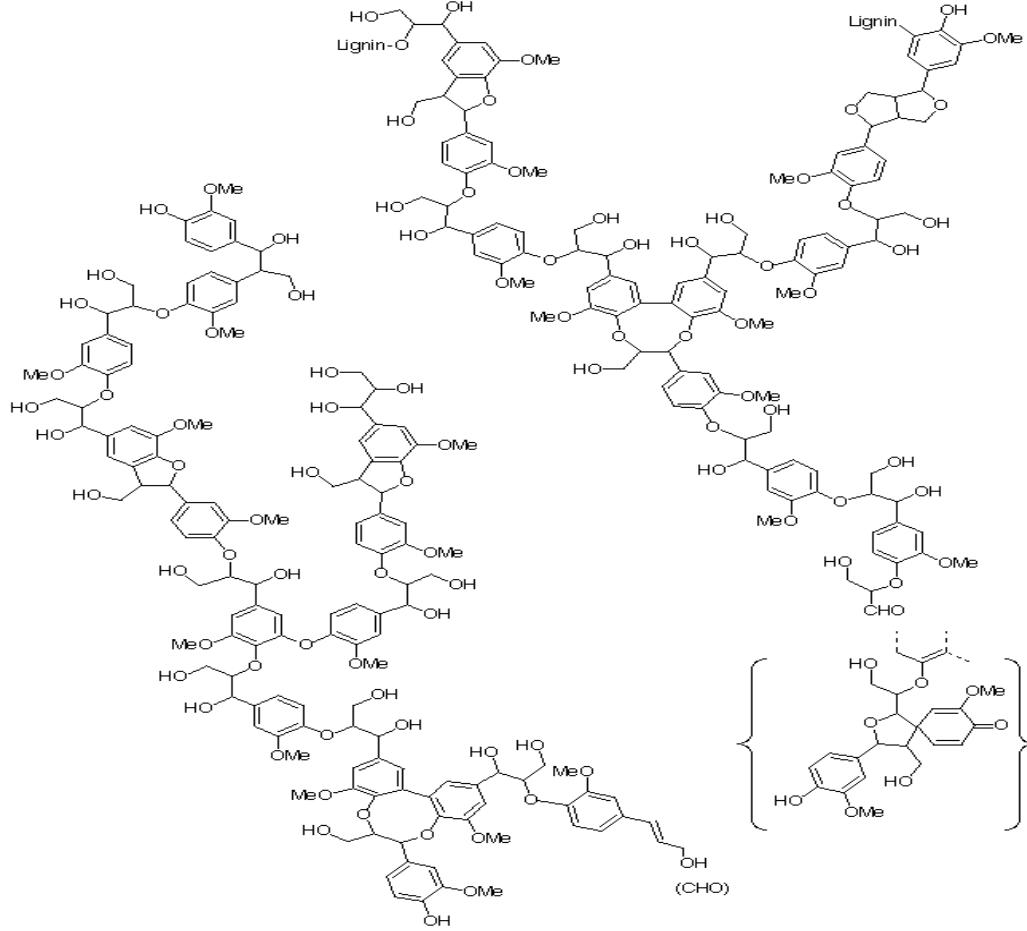
Şekil 2.3: Hemiselülozu Oluşturan Birimler [22]



Şekil 2.4: Hemiselülozun Genel Yapısı [23]

2.4.3 Lignin

Lignin; odun hücrelerini bir arada tutan bir grup fenolik polimerden oluşan ve bitki hücre duvarlarına sağlamlık ve sertlik sağlayan ve selülozdan sonra bitkilerde en çok bulunan ikinci bileşendir. Şekil 2.5’de ligninin yapısı görülmektedir [17].



Şekil 2.5: Ligninin Yapısı [24]

Lignin çeşitli proseslerle izole edilebilmekte; bağlayıcı, yapıştırıcı ve çeşitli kimyasalların üretiminde ham madde olarak kullanılmaktadır [25]. Lignin makromolekülü, 3 adet aromatik alkol olan p-coumaryl alkol, coniferyl alkol ve sinapyl alkolün polimerizasyonu ile oluşmaktadır. Esas yapısal birimi ise çeşitli kimyasal bağlarla bağlı olan fenilpropan molekülüdür. Ligninin yapısını oluşturan ve karakteristik gruplara uygun dört tip bağ vardır . Bunlar, doymuş alifatik gruplar, karbonil grubu, aromatik halkalardan oluşan aromatik grup ve hidroksil grubu bağlarıdır [17]. Lignin genel olarak biyokütlelerin sklerenkima, trakeidler ve ksilem borularında bulunur [26]. Lignin, alkolik hidroliz esnasında düşük sıcaklıklarda

çözünmez. Buna karşılık uygun çözücülerin kullanılması halinde yüksek sıcaklıklarda ligninin büyük kısmı çözünür. Lignin bitkinin yaşına ve türüne bağlı olarak, bitki ağırlığının ortalama %20-30'unu oluşturur.

2.4.4 Ekstraktif maddeler

Ekstraktif maddeler; hücre içinde ve aralarındaki boşluklarda bulunup, hücre duvarı yapısına katkısı olmayan, çok sayıda kimyasal bileşenden oluşan yapılardır. Bazı ekstraktifler, terpenler gibi uçucu hidrokarbonlardır. Ekstraktif maddelerde bulunan diğer bileşenler; polar olmayan alifatik bileşikler ve bazı polar fenolik bileşikler olabilmektedir. Bununla beraber, ekstraktif maddelerin odunun sağlamlığında bir rolleri yoktur; fakat, değerli kimyasalların eldesinde önem taşıyıp, aynı zamanda biyokütle yakıtlarının enerji değerine katkıda bulurlar [27].

Odunsu biyokütlelerde başlıca ekstraktif maddeler; alifatik bileşikler (yağlar ve vakslar), terpenler (sterol ve reçine) ve terpenoidler, yağ asitleri, tannin, quinon, aldehit, alkol, renk verici pigmentler, steroidler ve fenolik bileşiklerdir [17, 27]. Ekstraktifler çeşitli organik bileşiklerin bir karışımı olup, petrol eteri, eter, diklorometan, benzen, etanol, aseton ve su gibi çözücülerle bitkisel yapıdan ekstrakte edilebilmektedirler. Bu bileşikleri, birincil ve ikincil yapılar olarak sınıflandırmak mümkündür. Birincil yapılar, düşük molekül ağırlıklı şekerler, aminoasitler, basit yağlar ve karboksilik asitlerdir. İkincil yapılar, daha karmaşıktır ve oluşumları muhtemelen tersinirdir. Çoğunlukla bitkileri parazitler ve benzerlerine karşı koruyucu fonksiyonlara sahiptirler. Terpenler ve fenolik bileşikler ikincil yapılarla örnektir [16].

Ekstraktifleri sınıflandırmanın diğer bir yolu da lipofilik ve hidrofilik olarak ayırmaktır. Lipofilik olanlar; polar olmayan petroleteri, eter ve benzen gibi çözücülerde çözünürken, hidrofilikler suda çözüldükleri gibi, genelde aseton ve etanol gibi çözücülerde de çözünürler. Bununla birlikte, bu iki grup dışında bazı fenolik bileşikler de ekstraktifler arasında yer alır. Çok sayıdaki organik bileşik tipi için önemli bir lipofilik grup da reçinelerdir. Reçine kanallarında bulunan reçineler; reçine asitleri ve monoterpenler başta olmak üzere, terpenoidler ve yağ asidi esterlerini de içerirler. Bu reçineler odunu biyolojik zararlılara karşı korumaktadır.

Yağlar, vaks ve sterollerce zengin parenkima hücrelerinde bulunanlar reçinelerdir ve yedek besin temin ederler. Sert odunlar sadece bu tip reçine içermektedirler [16].

Ekstraktiflerin miktarı odun türleri arasında değiştiği gibi, aynı ağacın değişik kısımları için de farklı olabilmektedir. Lipofilik ekstraktifler genellikle alifatik bileşikler (başlıca yağ ve vaksar), terpenoidler, steroidler ve fenolik bileşikler olarak ayrılırlar. Bazı fenolik benzeri bileşikler olan tanninler ve fenolik glikozidler oldukça hidrofildir ve suda çözünbilirler [16].

Genelde odun içerisinde düşük miktarlarda da olsa başka tip polisakaritler de mevcuttur. Odunların ve çoğu bitkinin hücre duvarlarında pektinler adı verilen pektik maddeler bulunmaktadır. Bunlar polisakaritlerin kompleks bir grubu olup, ana polimerin temel bileşeni galakturonik asitlerdir [17].

Ayrıca, biyokütlerin yapısında çeşitli mineral tuzları da bulunmaktadır. Mineral tuzlar bitkinin kökleri yardımıyla su ile topraktan emilmektedir. Mineral tuzlarını biyokütlenin ekstraktif maddeleri arasında saymak mümkündür [17].

2.5 Biyokütlenin Yanması

2.5.1 Biyokütlenin Yanma Kademeleri

Biyokütleyi yakarak ısı ve ışık elde etmek, insanoğlunun bildiği en eski biyokütle dönüşüm sürecidir. Biyokütleyi enerjiye ve yakıtlara dönüştürmek için uygulanan prosesler arasında yakma hala en önde gelen teknolojidir. Günümüzde kullanılan toplam biyokütle enerjisinin % 95'inden fazlası, biyokütlenin doğrudan yakılması sonucunda elde edilmektedir.

Odunun yanması için temel eşitlik, selülozun empirik formülüyle aşağıdaki şekilde gösterilmektedir [28]:



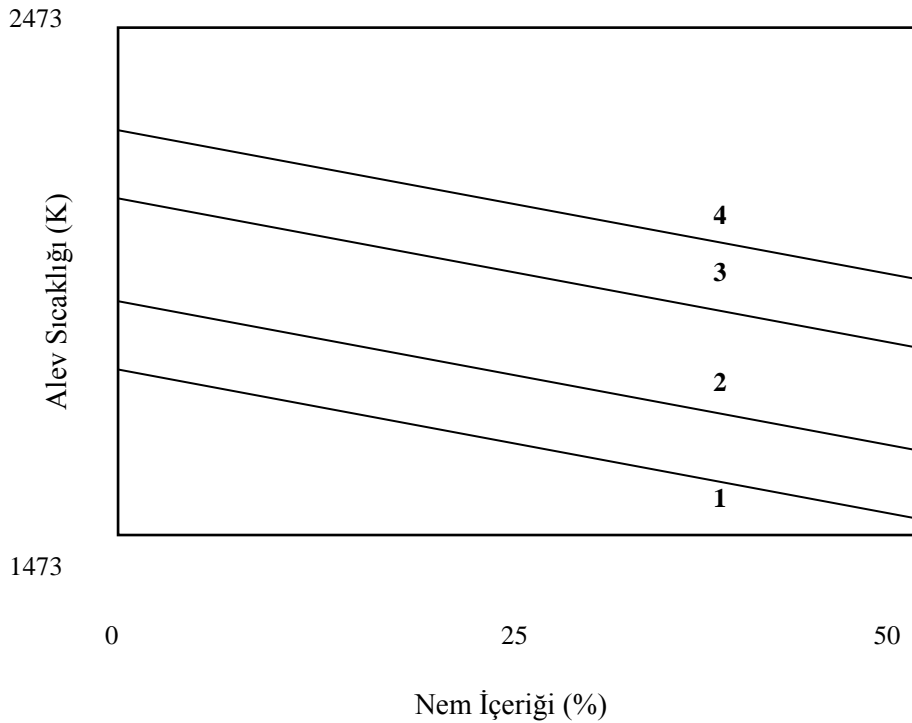
Biyokütlenin tam yanma süreci, biyokütle ile oksijenin hızlı bir şekilde kimyasal tepkimeye girmesi neticesinde enerjinin açığa çıkması ve bu sırada organik maddenin oksitlenerek suyun ve karbondioksitin açığa çıkması ile

tamamlanmaktadır. İdeal durumda, yakma sisteminde biyokütlenin ve oksijenin stokiometrik miktarları mevcuttur ve bunlar tepkimeye girerek öyle mükemmel bir yanma meydana getirirler ki, her bir reaktan tamamen tüketilerek sadece karbondioksit ve su açığa çıkmaktadır.

Normal koşullar altında ise, biyokütle de dahil olmak üzere, karbon içeren katı yakıtların çoğu için böyle mükemmel bir yanma meydana gelmemektedir.

Biyokütle normal koşullar altında yakıldığında, ortamda yeterli oksijen var ise, görünebilir radyasyon halinde bir alev meydana gelir. Çeşitli nem değerlerine sahip odunun aşırı miktarda hava kullanılarak yakılmasına ait teorik alev sıcaklıkları Şekil 2.6 'da görülmektedir [28].

Alev içerisindeki sıcaklık; tepkime süresinin, yanma hızının, alev hızının ve çevreye transfer olan enerjinin bir fonksiyonudur. Kontrol altında tutulan koşullar altında asetilen, benzin, hidrojen ve doğal gazın hava ile yakılması sonucunda ölçülen alev sıcaklıkları sırasıyla 2592, 2583, 2318 ve 2151 K'dir [28].



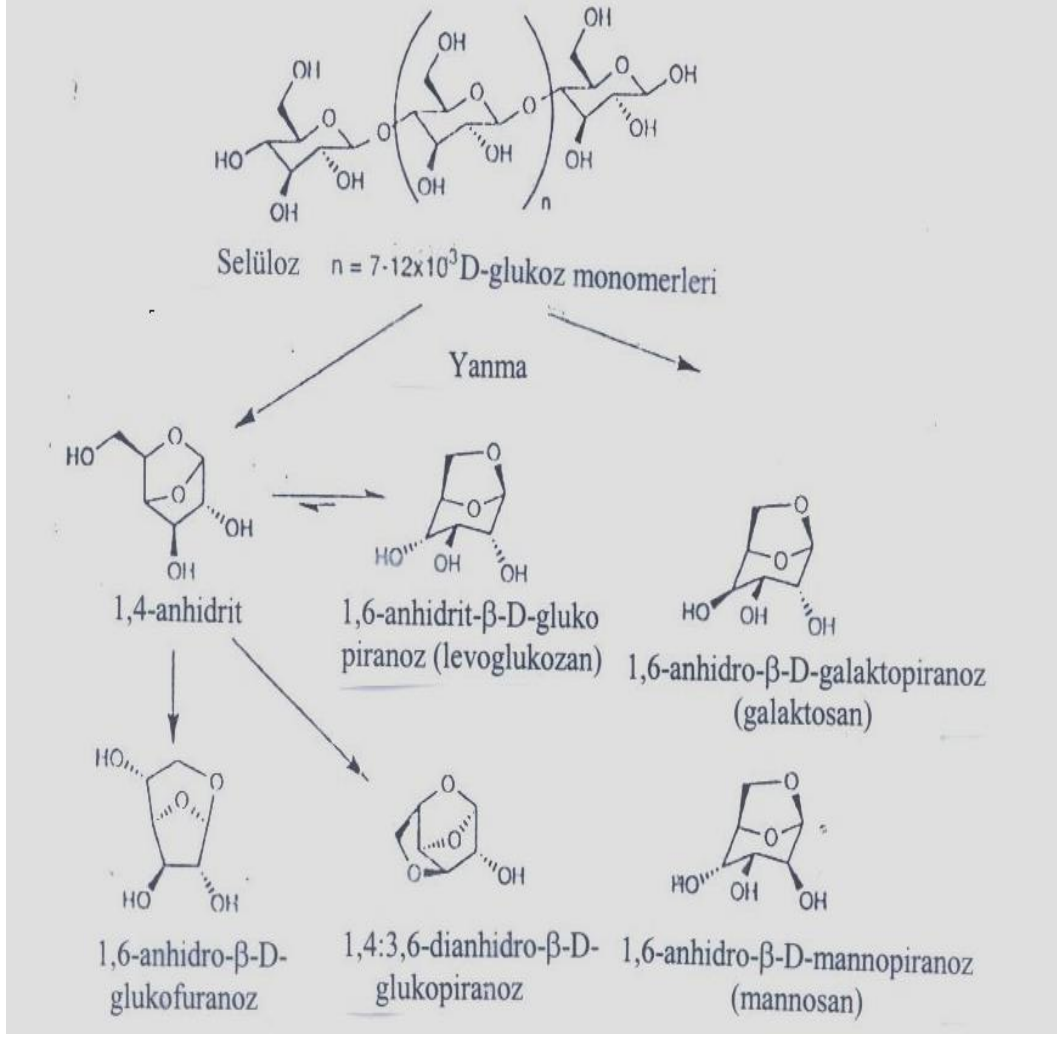
Şekil 2.6 Teorik Alev Sıcaklığının Odunun Nemine ve Hava Fazlasına Bağlı Olarak Değişimi (Hava Fazlası: 1: %30, 2:%20, 3: %10, 4: %0) [28]

Biyokütle yakıldığında bu sıcaklık seviyelerine ulaşamamaktadır. Biyokütle yakma sisteminde önce, yükselen sıcaklığın etkisi ile nem buharlaşır; ardından, 423-473 K'de biyokütlenin ısıl parçalanması gerçekleşir ve uçucu maddeler açığa çıkmaya başlar. Biyokütlenin kalan kısmı, 673-1073 K veya daha yüksek sıcaklıklarda oksijenin yüzeye difüzyonu sonucunda yanmaktadır. Yakma sistemine giren taze yakıtın kuru olması ve yakma sürecinin kontrol altında tutulması ile 1773 K gibi yüksek sıcaklıklara çıkmak mümkündür [28].

Biyokütle yakma sistemlerinde, yanmanın tam olması amacıyla hava fazlası kullanılır. Şekil 2.6'da açıkça görüldüğü gibi, hem yüksek nem oranları hem de hava fazlası, teorik alev sıcaklığını önemli ölçüde düşürmekte, yüksek alev sıcaklıklarına ulaşmak için de yakıtın kuru olması ve hava fazlasının düşük tutulması gerekmektedir [28].

Biyokütlelerin organik yapısı selüloz, hemiselüloz, lignin, suberin ve çitin gibi biyopolimerlerden oluşmaktadır. Biyopolimerlerin büyük bir kısmını selüloz ve ligninin oluşturmasından dolayı, biyokütlenin yanma sürecinde selüloz ve ligninin yanma aşamaları etkili olmaktadır [29].

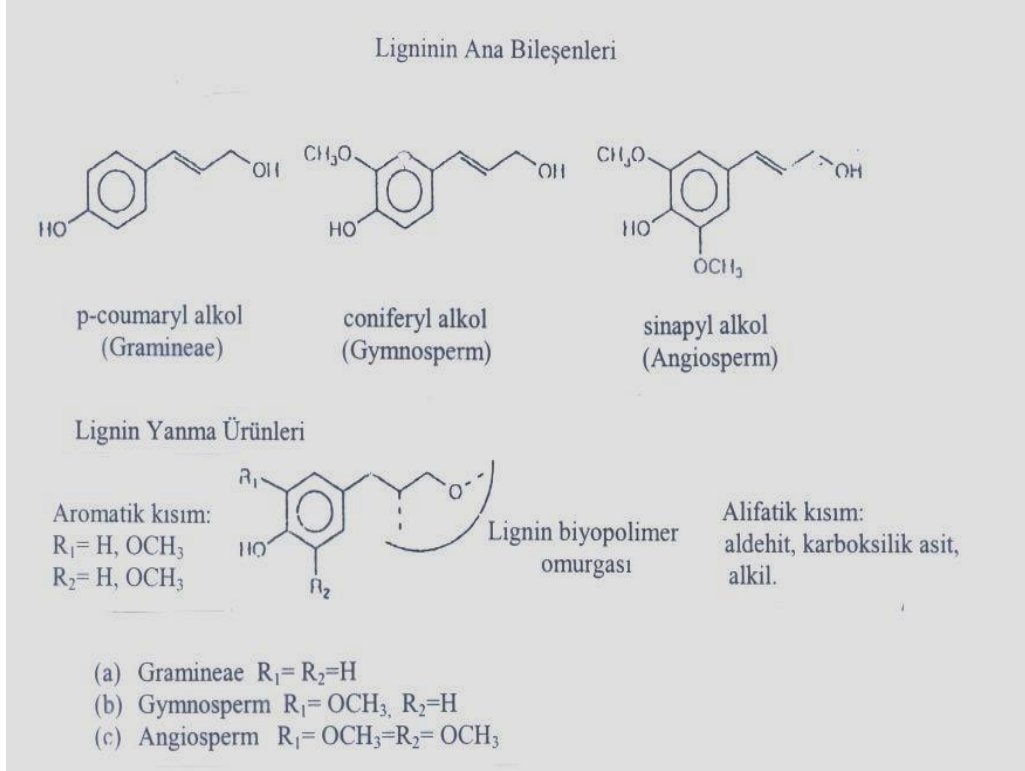
Selülüzün yanma sürecini iki kademe açıklamak mümkündür. Birinci kademe, 573 K'den düşük sıcaklıklarda gerçekleşmekte olup; suyun uzaklaşması, depolimerizasyon, parçalanma tepkimeleri ve kok oluşumuna öncülük eden oksidasyon olaylarını kapsar. İkinci kademe ise, 573 K'den yüksek sıcaklıklarda meydana gelen yapısal parçalanma neticesinde katranımsı anhidro şekerler oluşur ve uçucu maddelerin çıktığı tepkimeler gerçekleşir. Bu kademe selülüzden 1,4-anhidrit, 1,6- anhidro- β -D-galaktopiranoz (galoktasan) ve 1,6 anhidro- β -D-mannopiranoz (mannosan) oluşmaktadır. 1,4-anhidrit, reversibl bir tepkime ile 1,6-anhidro- β -D-glukopiranoza (levoglukozan) ve 1,6-anhidro- β -D-glukofuranoz ve 1,4:3,6-dianhidro- β -D-glukopiranoza dönüşmektedir. Selülüzün yanma ürünleri Şekil 2.7'de görülmektedir [29].



Şekil 2.7: Selülozun Yanma Ürünleri [29]

Ligninin yanması neticesinde coumaryl, vanillyl ve syringyl yapıları oluşmaktadır. Sert odunsuların lignin yapısı, sinapyl alkol ürünlerince zengindir. Yumuşak odunsularda ise coniferyl alkol ürünleri fazla miktarda bulunur ve daha az oranda sinapyl alkol bileşeni içermektedirler. Otsu biyokütleler ise, başlıca p-coumaryl alkol içermektedirler. Ligninin yanma ürünleri Şekil 2.8’de gösterilmektedir [29].

Biyokütlenin yanması ile açığa çıkan bileşenler; selüloz yanması sonucu oluşan monosakkarit türevleri, ligninin yanması sonucu oluşan fenolikler ve bunlara eşlik eden daha az miktardaki alifatik ve oksijenlenmiş bileşikler, reçineler, ve diğer biyopolimerler olarak sınıflandırılabilir [29].



Şekil 2.8: Ligninin Yanma Ürünleri [29]

2.5.2 Emisyonlar

Yakma esnasında, biyokütlenin çeşitli organik bileşenlerindeki kimyasal bağlı karbon ve hidrojen oksitlenmektedir. Bununla birlikte, biyoküttelede kimyasal olarak bağlı bulunabilen azot ve kükürt de oksitlenerek, azot ve kükürt oksitlerini meydana getirmektedir. Bu oksitlerin büyük bir bölümünü SO₂ ve NO oluştururken, bir miktar da SO₃ ve NO₂ oluşmaktadır. Biyokütlenin yanması için gereken oksijenin kaynağı havadır. Havadaki azotun küçük bir miktarı, aşağıdaki reaksiyonlar uyarınca, yanma sıcaklıklarında azot oksitlerine dönüşmektedir.



Çeşitli sıcaklıklarda azotun ve oksijenin ekimolar miktarlarından açığa çıkan NO'nun denge konsantrasyonları Tablo 2.5'de görülmektedir [28].

Tablo 2.5: Ekimolar Miktarlardaki Azot ve Oksijenden Oluşan NO Konsantrasyonları [28]

Sıcaklık(K)	NO (ppm)
1000	43
1100	89
1200	251
1300	500
1400	1000
1500	1630
1800	5460

Tablo 2.5’de görüldüğü gibi sıcaklık yükseldikçe, oluşan NO’nun konsantrasyonu da artmaktadır Kimyasal olarak bağlı azot ve kükürdün konsantrasyonları çoğu odunsu biyokütle türlerinde sıfıra yakın düşük değerlerdedir; fakat, bazı biyokütle türleri bu elementleri nispeten daha yüksek oranlarda içerebilirler. Kentsel katı atıklar ve bazı biyokütlelerde nispeten yüksek konsantrasyonlarda bulunabilen klor gibi elementler, odunsu biyokütlelerde oldukça düşük konsantrasyonlarda bulunurlar ve bu elementler HCl gibi klorlu bileşiklere dönüşürler. Klorlu bileşiklerin çoğu, kirleticiler olarak kabul edilmektedir. Karbon monoksit, asidik gazlar, yanmamış hidrokarbonlar, kısmen oksitlenmiş organik bileşikler, polisiklik aromatik bileşikler, iz metallerin oksitleri, azot ve kükürt oksitleri, klorlu bileşikler, karbon ve uçucu kül partikülleri, iyi kontrol edilmeyen sistemlerin baca gazlarında bulunmaktadır. Biyokütle yakıtının bileşimine bağlı olarak, biyokütledeki metalik elementlerin oksidasyonu sonucu oluşan külün miktarı, minör veya majör yanma ürünü olabilmektedir [28]. C, H, ve O haricindeki yakıt bileşenleri kirliliğe, tortu oluşumuna, korozyona ve kül oluşumuna neden oldukları için, yakıtta bulunmaları arzu edilmemektedir. Odun; düşük azot ve kül içeriği nedeniyle en çok tercih edilen biyoyakıttır. Otsu biyokütleler genellikle, yüksek N, S, K, Cl içeriğine sahiptirler. Odun hem büyük ölçekli tesislerde, hem de evlerde kullanım için uygunken, otsu biyokütleler büyük ölçekli tesislerde kullanılmaya elverişlidir [21].

Biyokütle yakma sistemleri; maksimum ısı enerjisi üretmek, istenmeyen emisyonları en aza indirmek ve çevre yönetmeliklerine uygunluk sağlamak amacıyla, yanmanın kontrol altında tutulabilen koşullarda tam olarak gerçekleştirilebileceği şekilde tasarlanmalıdır.

Yanmanın tam olarak gerçekleşmesini sağlamak için genellikle sınırlı miktarda oksijen fazlası kullanılmaktadır. Havanın hacimce % 79 azot içermesinden ve genellikle oksijenin kaynağı olarak havanın kullanılmasından dolayı, baca gazlarındaki en önemli bileşen azottur. Yakma kamarasında ulaşılan sıcaklık; açığa çıkan ısının miktarına, bu ısının transferine ve yanma gazlarının miktarına bağlıdır. Bu yüzden, yanma gazlarının seyreltici etkileri göz önünde bulundurulursa, hava kullanıldığında ulaşılan yanma sıcaklığındaki artış, saf oksijen kullanımına kıyasla daha düşüktür. Yanma hızını ve yanma gazlarının son sıcaklığını etkilemesinden ötürü, havanın biyokütlenin kütlesine olan oranı önemli bir parametredir [28].

2.5.3 Biyokütle Yakma Sistemleri

1900'lü yılların başlangıcına kadar, endüstrileşmiş toplumların çoğu biyokütlenin yakılmasını ve ısıtma, pişirme, kimyasal ve mangal kömürü üretimi, buhar, mekanik ve elektrik enerjisi üretimini kapsayan geniş bir aralık için ilgili birkaç termal süreci kullanmıştır.

Yanma bilimi zamanla önemli ilerleme kaydetmiştir ve gerçekleşen kimyasal mekanizmaları anlamamız kolaylaşmıştır. İleri yakma sistemlerinde ve hem biyokütlenin hem de fosil yakıtların yakılabildiği sistemlerde, ısı, buhar ve elektrik enerjisi üretmek amacıyla taze biyokütlenin ve kompleks atık biyokütle hammaddelerinin dönüşümü için geliştirilmiş yakma prosesleri mevcuttur. Yüksek termal verimle çalışan ve düşük emisyonla sahip olan küçük ölçekli katalitik odun sobaları geliştirilmiştir. Verimli bir yakma için, ısıyı geri kazanma kapasitesine sahip olan ve kentsel katı atıkların en az emisyon ile yok edildiği orta ve büyük ölçekli yakıcılar tasarlanmıştır. Odun, kentsel katı atıklar, atık türevli yakıtlar ve diğer biyokütle yakıtları için kentsel ve güç santrali amaçlı kullanım için modern yakma sistemleri mevcuttur.

Biyokütlenin yakılması, ardarda meydana gelmekte olan heterojen ve homojen reaksiyonları içeren karmaşık bir prosestir. Ana proses basamakları; kurutma, uçucuların çıkması, kok yanma basamağı ve gaz fazı oksidasyonudur. Herbir reaksiyon için gerekli süre, yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerine, sıcaklığa ve yakma koşullarına bağlıdır.

Yakma sistemlerinin tasarlanmasında yüksek uçucu madde içerikleri dikkate alınmalıdır. Yakma esnasındaki farklı proses basamak bölgeleri, fırın tasarımı ile optimize edilebilir. Başlıca yakma parametresi; uygulanmakta olan ve stokiometrik yakma havası miktarları arasındaki oranı anlatan aşırı hava miktarıdır.

Tam yanmanın gerçekleşebilmesi için gerekli parametreler; sıcaklık, zaman, ve türbülansdır. Yanabilen gazların hava ile karışması, yakma kalitesini en fazla sınırlayan faktördür. Bununla birlikte, istenilen sıcaklığa ve sistemde kalma süresine kolayca ulaşılabilmektedir.

Yeşil biyokütlenin nem içeriği oldukça yüksek değerlerde olabilir ve yakma prosesini olumsuz yönde etkileyebilir. Nem içeriği aşırı yüksek ise, yanma prosesi kendi kendine süremez ve ilave bir yakıt kullanılmak zorunda kalınır. Yüksek nem içeriği aynı zamanda eksik yanmaya, düşük termal verime, aşırı miktarda emisyon oluşumuna ve katran gibi ürünlerin oluşarak sistemi tıkamasına neden olur. Böyle durumlarda, yakıtın nem içeriğinin azaltılması amacıyla, yakmadan önce kuru yakıt ile karıştırılması gerekli olabilir. %10-20 oranında nem içeren odunsu biyokütle genellikle konvansiyonel biyokütle yakma sistemleri için tercih edilmektedir. Biyokütlenin daha az oranda nem içermesi, daha yüksek yanma sıcaklıklarına ulaşabilmeyi sağlar.

Biyokütlenin yakılmasında önemli olan diğer faktörler, yakıtın tane boyutu ve tane boyut dağılımıdır. Fırın tasarımı genellikle bu parametrelerin optimum aralığını belirlemektedir. Fakat, genelde yakıt tanecikleri küçüldükçe, yanma süreci daha hızlı ve tam olmaktadır. Büyük taneciklerin tam olarak yanabilmeleri için, yakma kamarasında daha uzun kalma süreleri gerekmektedir. Biyokütle yakma sistemlerinde, yakma aşamasından önce ve sonra çeşitli ekipmanlar kullanılmaktadır. Biyokütle yakma ekipmanlarının amaçları; yakıt ve havayı oranlamak ve karıştırmak, tutuşmayı başlatmak ve sürdürmek, yakıtı uçucu hale getirmek, faydalı ısının açığa çıktığı alanda alevi ayarlamak ve bu olayların herbirini kolaylaştırmak amacıyla yakıtı ve havayı belirli hızlarda ve basınçlarda temin etmektir. Biyokütle yakma ve geri kazanım sistemlerinin çoğu için uygun olan özel ekipmanlar; kullanılan yakıtın tipine, miktarına ve özelliklerine, istenen nihai enerji şekline (ısı, buhar, elektrik veya kojenerasyon), sistemin tesisdeki diğer sistemlerle ilişkisine (bağımsız, entegre), atıkların yok edilmesi için gereken yöntemlere ve çevresel faktörlere bağlıdır.

Etkin ve büyük ölçekli biyokütle yakma sistemlerinin tasarımı, birçok parametrenin ve donanım bileşeninin ayrıntılı olarak analiz edilmesini gerektirmektedir. Bunlar arasında biyokütlenin nem, uçucu madde, kül içerikleri, bileşimi ve ısıl değeri ile değişim aralıkları, biyokütlenin kullanım, kurutma ve öğütme ekipmanları, fırın dizaynı ve buna bağlı olarak ısı transfer ihtiyacı ve konstrüksiyon malzemeleri, yanma ve emisyon kontrolleri, külün bileşimi, ergime sıcaklığı, aglomerasyon özellikleri ve bertarafı, baca gazı bileşimleri ve emisyon sınırlandırmalarını karşılamak için ihtiyaç duyulabilen işlemler yer almaktadır.

Konvansiyonel biyokütle yakma ekipmanında katı yakıtın yanması, yatay veya eğimli çelik ızgaralar üzerinde meydana gelmektedir. Izgara; sabit, titreşimli, ileri geri hareketli olabilmekte ve yakıt kesikli, yarı kesikli ve sürekli olacak şekilde beslenebilmektedir. Yığın yakma sistemleri , sabit ve hareketli yataklı fırınlar, çoklu fırınlar, sabit veya dönen, yatay veya eğimli fırınlar, üstten beslemeli, alttan beslemeli ve pulverize brülörler gibi bir çok fırın tasarımı kullanılmaktadır. Biyokütlenin yakılması için uygun olan fırınlardaki farklılıklar genellikle yakma kamarasının tasarımından, çalışma koşullarından ve ısı transfer mekanizmalarından kaynaklanmaktadır. Yaklaşık 1273 K'de çalışan refrakter malzeme ile kaplı fırınlar, su cidarlı yakıcıların kullanılmaya başlamasına kadar standart fırınlardı. Refrakter malzeme ile kaplı fırınlarda kül hemen oluşabilmektedir ve cidar sıcaklıklarını sınırlamak için aşırı hava kullanılmak zorundadır. Su cidarlı yakıcılar, içinden suyun sirküle olduğu bir boru kümesini içeren yakma kamarasına sahiptir ve bu nedenle soğutucu hava ihtiyacı daha azdır. Isı, buhar üretmek üzere borulara transfer olmaktadır. Çok değişik yapıda olanları vardır; fakat, ısı transferini ve termal verimi iyileştirmek amacıyla çalışma koşullarında ve kullanılan malzemelerde yapılan iyileştirmeler dikkate alınmazsa, temel kavram uzun yıllardır değişmemiştir. Yanma prosesini kontrol etmek, emisyonları azaltmak, külü uzaklaştırmak, baca gazlarından uçucu külü ve emisyonları gidermek üzere önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Baca gazlarından duyulur ısının geri kazanılması, kondensattan ve yakma kamarasından ısının geri kazanılması için kullanılan yöntemlerde de iyileştirmeler yapılmıştır. Verim artırıcı diğer iyileştirmeler, sisteme giren biyokütle yakıtının nem içeriğinin giderilmesi için ön kurutma donanımında yapılan iyileştirmelerden kaynaklanmaktadır.

Evsel odun yakıtları, havada kurutma işleminin etkinliğine bağlı olarak, % 15-50 aralığında değişen nem içeriğine sahiptirler. Mevsimlik odunların nem içeriği genellikle % 20 civarındadır. Eski odun sobalarının çoğu, sabit bir çelik ızgarası olan konvansiyonel yakıcılarıdır. Hava akışı manuel olarak ayarlanır ve baca bağlantıları maksimum yük için boyutlandırılmıştır. Odun yakan daha büyük ekipmanlarda bazen elektrikli hava üfleyiciler kullanılmaktadır. Kül, ızgaranın altındaki bir haznede toplanmaktadır. Eski odun sobalarının yaygın bir özelliği, yakıtın kullanımını maksimum düzeye çıkartmak için yakıtın yanma bölgesinde uzun süre beklemesine izin vermeleridir. Yıllar geçtikçe, farklı tasarıma sahip yüzlerce odun sobası modeli piyasaya çıkmıştır ve bunların birçoğunun yüksek verime sahip olduğu iddia edilmektedir. Bazı modifikasyonlar termal verimde küçük artışlar yaratmıştır; fakat, birçoğunda tamamen estetik amaçlı değişimler gerçekleştirilmiştir.

Kentsel atıkların araziye atılarak bertaraf edilmesi, uygulanan yöntemlerden biridir. Fakat, bu amaçla kullanılacak alanların kısıtlı olması, yasal düzenlemeler ve gerekli kontrollerin yapılmak zorunda olması, bu atıkların yakılarak yok edilmesini ön plana çıkartmaktadır. Enerjinin geri kazanımının söz konusu olmadığı küçük ve orta ölçekli tesislerde, açık havada yakma veya fırınlarda yakma işlemi uzun yıllardır uygulanmaktadır.

Gelişmiş ülkelerde, atıklardan enerji üretmek amacıyla kullanılan teknolojiler kentsel atıkların kütleli olarak yakılması ve modüler kütleli yakma teknolojileridir. Faaliyetteki modern tesislerin birçoğu buhar üretmek için bir atık ısı kazanı veya su ceketli sistemini kullanmaktadır. Tesislerin önemli bölümünde kullanılan kütleli yakma teknolojisinde kentsel atıklar, boyutlarını küçültme veya bazı maddelerin ayrılması gibi çok basit işlemlerden geçirildikten sonra yakılmaktadır. Birçok yerde; büyük cihazlar, otomobil aküleri ve tehlikeli malzemeler ayrılmaktadır. Kütleli yakma tesislerinin çoğu su ceketli yakma teknolojilerini, bazıları ise refrakter malzeme ile kaplı fırınları, döner yakıcıları ve az sayıdaki diğer konfigürasyonları kullanmaktadır. Modüler kütleli yakma sistemleri, su ceketli sistemlere göre daha az miktardaki kentsel atıkları işlemek üzere bir veya daha fazla sayıdaki küçük ölçekli yakma ünitesini içerirler. Nihai yanma, ikinci odada meydana gelmektedir. Biyokütlenin yanabilir fraksiyonlara ayrıldığı tesislerde, kentsel atıklar önce parçalanır, daha sonra yanabilir fraksiyonlara ve metal, cam,kağıt,plastik gibi geri

kazanılabilir bileşenlerine ayrılır. Bu yöntemde genellikle, yarı süspansiyon veya süspansiyon halinde yakma yapılan fırınlarda veya diğer yakıtlar ile birlikte yakılır. Küçük bir miktarı, büyük güç tesislerinde buhar üretmek amacıyla kömür ile birlikte veya bazı tesislerde suyu giderilmiş kentsel biyokatılar ile birlikte de yakılmaktadır. Geri kazanılabilir maddelerin ayrılması; miknatısların, girdap-akımlı cihazların, hava sınıflandırıcıların ve flotasyon cihazlarının yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Çok sayıdaki endüstriyel katı atık, enerji geri kazanım kapasitesine sahip yakıcılarda yakılarak yok edilmektedir. Bu sistemlerin çoğu kentsel atıkların yakma sistemlerinden daha küçüktür. Özel endüstriyel atıkların bileşimi kentsel atıkların bileşimine göre daha üniformdur; fakat bu atıkların kategorisi o kadar geniş bir aralıkta değişmektedir ki, bazen özel donanımların ve fırınların kullanılması zorunlu hale gelmektedir. Döner fırınlar, çoklu fırınlar ve akışkan yataklı yakıcılar endüstriyel atık yakma sistemlerinde kullanılmaktadır [28].

2.5.3.1 İleri Yakma Sistemleri

Atık biyokütlenin yakılması genellikle enerjiyi geri kazanmak amacıyla değil, bu atıkların yok edilmesi amacıyla gerçekleştirilmektedir. Katı biyokütle türleri içinde yakılması en zor olanlarından biri kentsel biyokatılardır. %95 veya üzerindeki değerlere ulaşan yüksek nem içeriği ile fiziksel ve kimyasal özellikleri, bu biyokütlenin yakılarak yok edilmesi için özel su giderme yöntemlerini ve fırın tasarımlarını gerektirmektedir. Genellikle ilave yakıt kullanımına ihtiyaç vardır; fakat, kendi kendine yanabilmesini sürdürebilmek için suyu giderilmiş biyokatıların kullanımı gereklidir. Yaklaşık olarak %4 oranında katı madde içeren kıvamlaştırılmış biyokatıları, yaklaşık %38 oranında su içerecek şekilde suyu giderildikten sonra yakmak mümkündür.

Akışkan yatakta yakma, avantajlarından dolayı özellikle büyük ölçekli sistemlerde uygulanabilir. Yanma, ünitenin alt tarafındaki bir dağıtıcı elekten geçen havanın yayıldığı bir kapta meydana gelmektedir. Hava, daha sonra inert bir refrakterin, yakıtın parçalarının ve tanelerinin, külün ve yanma sonunda geriye kalan kalıntı inorganik tanelerin yatağı içerisinden geçer ve böylece yatağı “akışkanlaşmış” hale getiren efektif hacme neden olur. Küçük parçalar akışkan yatağın üzerinde hızla yanar; oysa, daha büyük tanecikler yatakta kuruyup gazlaşırlar. Uçucu maddeler hem akışkan yatağın üzerinde, hem de içerisinde yanarken, geriye kalan kokun çoğu

akışkan yatağın içinde yanmaktadır. Yaklaşık 923 K'de alevsiz yanmanın meydana geldiği bu karışım yatağına, yakıt hızla beslenmektedir. Bu sıcaklık alev sıcaklığının altında olabilmektedir. Düşük miktarda ısı girişi ihtiyacı nedeniyle, birçok yüksek nem içerikli yakıt herhangi bir ilave yakıtı ihtiyaç göstermeden yakılabilmektedir. Kireçtaşı gibi malzemeler, baca gazındaki kirleticilerin en aza indirilmesi amacıyla sık sık yatağa ilave edilmektedir. Akışkan yatağın, hava ile yakıtın iyice karışarak birbiri ile yeterince temas etmesini sağlaması nedeniyle, yanmanın iyileşmesi ve emisyonların azalması, farklı şekildeki, boyuttaki, nem içeriğindeki ve ısıl değerdeki çok çeşitli yakıtların yakılmasını mümkün hale getirmiştir [28].

Akışkan yatak teknolojisinin siklonik yakma ile kombinasyonu, ısıyı geri kazanarak atık biyokütlenin yok edilmesi için iki kademeli sistemlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Birinci kademe, ya substokiometrik olarak ya da aşırı hava koşulları altında çalışabilen aglomere edici akışkan yatak reaktörüdür. Kentsel biyokatıllar yakıldığında, yanmayan maddeler, akışkan yatağın alt kısmından uzaklaştırılabilen camsı bir matris oluşturmak üzere aglomere olurlar. Aglomere olmuş inert madde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılmaktadır. İkinci kademe, akışkan yataktan çıkan baca gazlarının yakıldığı siklonik bir yakıcıdır. Bu siklonik yakıcı, çalışma koşullarında karbon monoksitin ve organik bileşiklerin tamamını karbondioksite ve suya oksitlemek için gereken yeterli bekleme süresini sağlar. Bu kombine sistem, organik maddeleri % 99.99'dan yüksek verimle uzaklaştırabilmektedir [28].

Doğrudan yakmalı gaz türbinleri, biyokütle yakmadaki diğer bir gelişmedir. Gaz türbininin kompresör kısmı, gaz türbinleri için gereken basınçlarda çalışma kapasitesine sahip bir harici basınçlı yakıcıda biyokütleyi yakmak için basınçlı yanma havasını temin eder. Sıcak yanma gazları, jeneratörü tahrik etmek için bir siklonik separatör içerisinden gaz türbininin sıcak bölgesine geçerler. Yaklaşık 753 K'de gaz türbininden çıkan sıcak atık gazlar ya doğrudan ısı enerjisi kaynağı olarak kullanılabilir, ya da proses buharını üretmek üzere bir ısı geri kazanım buhar jeneratörüne beslenir. Kojenerasyon şeklinde bu iki enerji tipinin tam olarak kullanılması, sistem verimini % 70'in üzerine çıkarabilmektedir.

Bu tip doğrudan yakmalı türbinin 5 MW'a kadar kapasiteli küçük ve orta boyutlu endüstriyel ve ticari uygulamalar için uygun olduğuna inanılmaktadır. Düşük kül ve % 15'den daha az nem içeren ve 0.3 mm'den daha küçük kabuksuz odun tanecikleri tercih edilen yakıttır; fakat, işlenmiş diğer biyokütle de kullanılabilir [28].

Pulse yakma, biyokütlenin yakılması için geliştirilmekte olan diğer bir ileri teknolojidir. Bir pulse yakıcısı, kısa bir boru şeklindeki bir yakma kamarasından meydana gelmektedir. Bu kamaranın bir ucunda hava ve yakıt girişine izin veren bir vana bulunmaktadır; diğer uca ise, borunun çapı daralmaktadır. Akışın sadece tek bir doğrultuda olmasına izin veren vana, bir üfleçten gelen havanın yakıtla karışarak patlayıcı bir karışımı oluşturacağı yakma kamarasına hava girişini sağlar. Tutuşma, bir buji yardımıyla sağlanır ve basınç hızla yükselir. Gazlar, küçük çaplı boru içersinden dışarı sürülür. Patlamayı bir vakum takip ederek yeni bir hava ve yakıt yüklemesinin yakma kamarasına girmesi sağlanır. Bu çevrim saniyede çok sayıda tekrarlanır. Gaz yakıtları uygun olmasına rağmen, % 15'den daha az nem içeren pulverize yakıt ve testere talaşı bu sistem çalışmaya başladıktan sonra yakıt olarak tek başına uygun olabilmektedir [28].

Güç üretimi için büyük ölçekte biyokütlenin yakıldığı, bütün bir ağacın dalları ile birlikte yakılması, diğer bir yaklaşımdır ve konveyörler vasıtasıyla doğrudan yakma kamarasına besleme yapılmaktadır. Bütün bir ağaç, yakma öncesinde, kurutma binalarında büyük yığınlar halinde 30 gün bekletilerek kurutulmaktadır. Kurutma amaçlı olarak, sıcak ve kuru hava kullanılmaktadır. Yakma kamarası iki kademeli bir yakma ünitesidir. Birinci kademedede, su ile soğutulan ızgara, ağaç yığını taşıyarak yanma sonucunda çıkan gazlar yığının üzerinde 1753 K gibi yüksek olabilen sıcaklıklarda yanarlar. Yığının içersindeki sıcaklık 373 K'dir. Yanmanın ikinci kademesi, ızgaranın açıklıklarından kokun aşağıya düşmesiyle yatağın altında meydana gelir. Kül, ikinci kademenin altında toplanarak ortamdan uzaklaştırılır. Altan giren yakma havası, ikinci yakma kamarasına yaklaşık 613 K'de girer ve kontrol amacıyla kullanılır. Akış debisinin ve sıcaklığın azaltılması veya yükseltilmesi, ağaçların yanma hızını ve uçucuların çıkışı azaltır veya yükseltir. Birincil yakma kamarasının üzerine yerleştirilmiş olan kazan kısımları maksimum buhar üretimini sağlarken, yığın üzerinden ikincil havanın girişi uçucuların tamamen yanmasını sağlamaktadır [30].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Kullanılan Biyokütle Numunelerinin Tanıtılması

Deneysel çalışmada, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden kaynaklanan 39 adet farklı biyokütle numunesi kullanılmıştır. Biyokütle numunelerini; tahıl kabukları, bitki sapları, sert yemiş kabukları, meyve çekirdekleri, meyve posaları, ağaç artıkları, yağlı küspe ve tohumlar ile tarımsal sanayi artıkları başlıkları altında toplamak mümkündür. Biyokütle numunelerinin kaynaklandığı bölgeler ve kod numaraları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Biyokütle Numunelerinin Yetiştigi Yörelere ve Kodları

Numune Kodu	Numune Adı	Yöresi
	Tahıl Kabukları	
B-01	Bakla İç Kabuğu (Vicia Faba)	Çanakkale
B-02	Bakla Dış Kabuğu (Vicia Faba)	Çanakkale
B-03	Pirinç Kabuğu (Oryza Sativa)	Edirne
B-04	Nohut Dış Kabuğu (Cicer Arietinum)	Nevşehir
B-05	Kırmızı Mercimek Kabuğu (Lens Culinaris Medik)	Gaziantep
B-06	Kakao Kabuğu (Cacao)	Bilinmiyor
B-07	Susam Kabuğu (Sesamum Indicum)	Adana
B-08	Ayçekirdeği Kabuğu (Helianthus Annuus)	Tekirdağ
	Bitki Sapları	
B-09	Fasulye Sapı (Phaseolus Vulgaris)	Gaziantep
B-10	Mısır Sapı (Zea Mays)	Tekirdağ
B-11	Ayçiçeği Sap ve Tablası (Helianthus Annuus)	Tekirdağ
B-12	Vişne Sapı (Prunus Cerasus)	Tokat
B-13	Bezelye Sapı (Pisum Sativum)	Bursa
	Sert Yemiş Kabukları	
B-14	Ceviz Kabuğu (Tuglans Regia)	Kahramanmaraş
B-15	Fındık Kabuğu (Corylus Avellana)	Giresun
B-16	Badem Kabuğu (Prunus Communis)	Malatya
B-17	Yerfıstığı Kabuğu (Arachis Hypogaea)	Muğla
B-18	Keçiboynuzu (Ceratonia Siliqua)	Antalya
B-19	Kestane Kabuğu (Cestanea Sativa Mill)	Bursa

Meyve Çekirdekleri		
B-20	Üzüm Çekirdeği (Vitis Vinifera)	Nevşehir
B-21	Erik Çekirdeği (Prunus Domestica)	Tekirdağ
B-22	Kızılcık Çekirdeği (Cornus Mas)	Bursa
B-23	Vişne Çekirdeği (Prunus Cerasus)	Tokat
B-24	Kayısı Çekirdeği (Prunus Armeniaca)	Malatya
B-25	Şeftali Çekirdeği (Prunus Persica)	Bursa
Meyve Posaları		
B-26	Kayısı Posası (Prunus Armeniaca)	Tokat
B-27	Şeftali Posası (Prunus Persica)	Tokat
Ağaç Artıkları		
B-28	Melez Kavak Ağacı Kabuğu (Populus Euroamericana)	İstanbul
B-29	Dişbudak Ağacı Kabuğu (Fraxinus Excelsor)	İstanbul
B-30	Çam Kozalağı (Pinus Pinea)	İstanbul
Yağlı Küspeler ve Tohumlar		
B-31	Arpa Küspesi (Hordeum Vulgare)	Adana
B-32	Soya Küspesi (Glycine Max)	Konya
B-33	Pamuk Küspesi (Gossypium)	Adana
B-34	Pirina (Olea Europea)	Çanakkale
B-35	Kolza Tohumu (Brassica Napus)	Tekirdağ
Tarımsal Sanayi Artıkları		
B-36	Tütün (Nicotiana Tabacum)	İzmir
B-37	Çay (Cemellia Sinensis)	Rize
B-38	Çay Kafeini	Rize
B-39	Patates Kabuğu (Solanum Tuberosum)	Adapazarı

3.2 Biyokütle Numunelerine Uygulanan Analizler

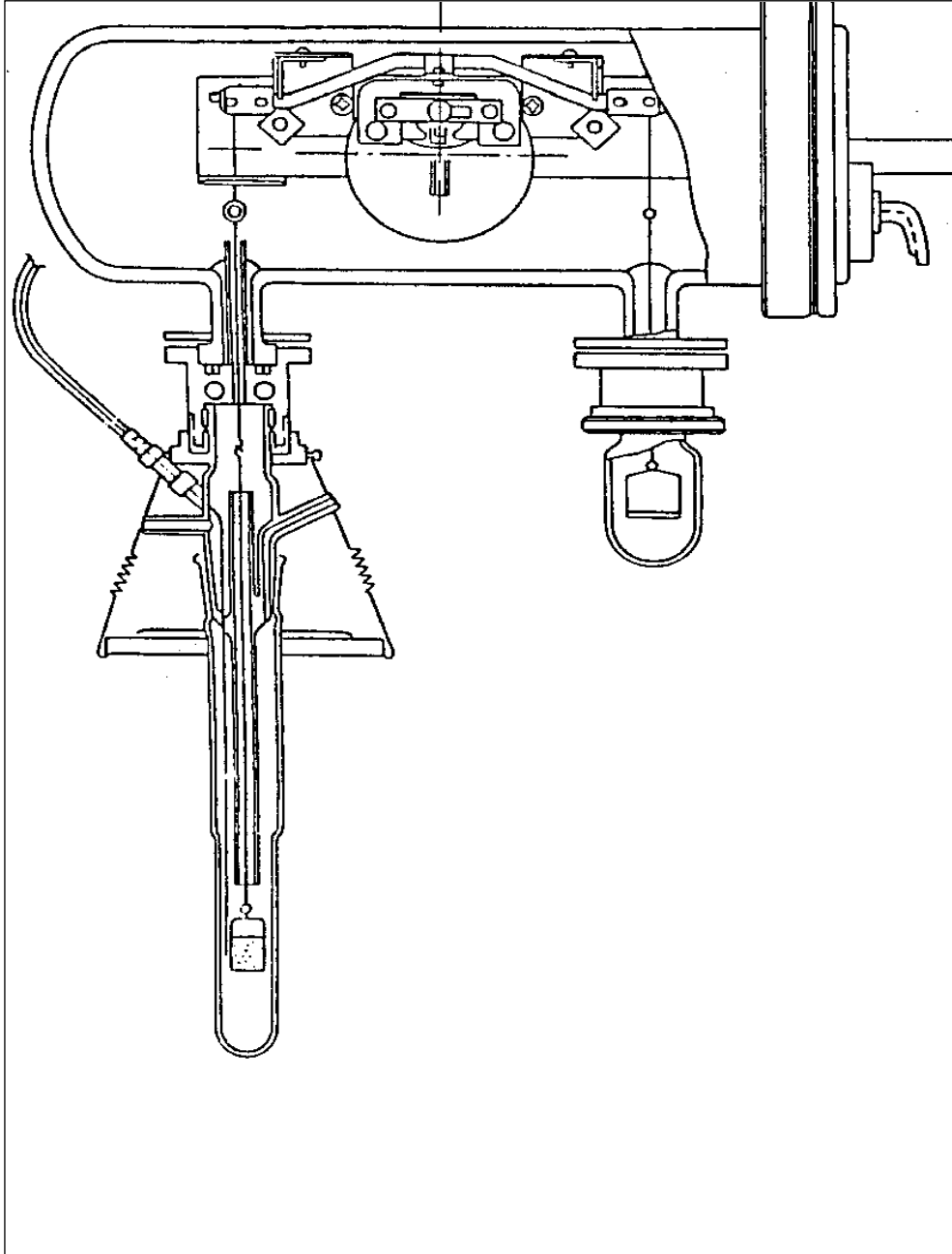
Biyokütle numunelerinin kısa analizleri, elementel karbon, kükürt, azot ve hidrojen ile ekstraktif madde analizleri ASTM standartlarına [31-35], lignin analizleri van Soest yöntemine [36], holoselüloz analizleri [37]'e göre, ve α -selüloz analizi TAPPI standardına [38] uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Biyokütle numunelerinin ısı değer ölçümleri kalorimetre bombası kullanılarak ASTM standartlarına göre yapılmıştır [34].

Biyokütle numunelerinin elementel analizleri Euro EA3000 model bir elementel analiz cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.3 Kullanılan Termogravimetrik Analiz Sisteminin Tanıtılması

Deneysel çalışmalarda kullanılan Termogravimetri (TG) cihazı, Shimadzu Firması'nın TG 41 modelidir. Cihazın en yüksek çalışma sıcaklığı 1773 K'dir. Sıcaklık ölçümünün yapıldığı ısıl çift Pt-Rh alaşımıdır. Numune kabının yapıldığı malzeme alüminadır; silindirik bir şekle sahip olan numune kabının çapı 10mm, yüksekliği ise 14mm'dir. Kullanılan TG ünitesinin kesiti Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1: TG Ünitesinin Kesiti

3.4 TG Deneylerinin Çalışma Koşulları

Tüm TG deneyleri için kaydedici kağıt hızı 2.5 mm/dak olarak seçilmiştir ve tane boyutu -1mm olan numunelerden 40 mg kullanılmıştır.

Biyokütle numunelerine hava akımı altında uygulanan TG deneyleri esnasında, 20 K/dak'lık ısıtma hızıyla 1223K'e kadar çıkılmış ve bu sıcaklıkta ağırlık kaybı sabitleninceye kadar bekletilmiştir; kuru havanın debisi ise deney süresince 40 ml/dak olarak sabit tutulmuştur.

Biyokütle numunelerine uygulanan kısa analiz deneylerinde ise, biyokütle numuneleri 40 ml/dak'lık azot akımında 10 K/dak ısıtma hızıyla 381 K'e ısıtılarak bu sıcaklıkta 10 dakika süreyle bekletilerek nem çıkışı sağlanmış ve 40 K/dak'lık ısıtma hızıyla 1223 K'e ısıtılarak bu sıcaklıkta 7 dakika bekletilip uçucu madde çıkışı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, 20 K/dak'lık soğutma hızıyla sıcaklık 873 K'e düşürülerek azot akımı kesilmiş ve 40 ml/dak'lık kuru hava beslenmiştir ve bu sıcaklıkta ağırlık kaybı sabitleninceye kadar bekletilmiştir.

TG kullanılarak gerçekleştirilen kısa analizlerde ASTM standartlarındaki sıcaklık sınırlarına bağlı kalınmıştır.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Biyokütle Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları

Her biyokütle tipinin özellikleri farklıdır ve yakma, gazlaştırma gibi proseslerdeki performansı bu özelliklerine bağlıdır. Biyokütlenin uygulanan termal proseslerle ilgili en önemli özellikleri şunlardır:

- Nem içeriği,
- Bıraktığı kül miktarı ve bileşimi,
- Uçucu madde içeriği,
- Elementel bileşimi,
- Isıl değeri ve
- Yığın yoğunluğu.

Biyokütlenin fiziksel nem içeriği, genellikle 373-378 K sıcaklığında ve atmosferik basınçta kurutulmasıyla saptanmaktadır. Bazı biyokütle çeşitleri kurutma esnasında kolay uçucu organik bileşiklerini kaybetmelerine rağmen, elde edilen sonuçlar biyokütlenin karakterizasyonu için uygundur.

Bitkinin yapısında yer alan mineraller çok çeşitlilik göstermesine karşın, derişimleri kömüre oranla düşüktür. Biyokütlenin yanması sırasında, içerdiği minerallerin oksijen ile tepkimeye girmesi sonucunda çeşitli metal oksitler oluşmaktadır. Bu nedenle, biyokütlenin yakılması sonucunda oluşan külün bileşimi, orjinal biyokütlenin içerdiği mineral maddenin bileşiminden oldukça farklıdır. Alkali metal bileşikleri kolay uçucu olduklarından, biyokütle yanarken kısmen buharlaşırlar. Biyokütlenin bıraktığı külün miktarı kadar, kimyasal bileşimi de önemlidir. Biyokütlenin yakılması veya gazlaştırılması sırasında çıkılan yüksek sıcaklıklardaki külün davranımını, bileşimindeki maddeler belirlemektedir. Düşük erime sıcaklığına sahip bileşiklerin külde bulunması, yakma veya gazlaştırma sistemlerinde tıkanma ve korozyon gibi sorunlar yaratmaktadır.

Ayrıca, biyokütlenin mineral madde içeriğinin yüksek olması ve bu nedenle de bıraktığı kül miktarının yüksek olması, ısı değerinin düşük olmasına neden olmaktadır. Çünkü, mineral madde genellikle ısı değere katkıda bulunmamaktadır.

Uçucu madde, biyokütlenin ısıtılması sırasında açığa çıkan kısmı olarak tanımlanmakta ve hidrokarbonları, karbondioksiti, karbonmonoksiti, hidrojeni ve su buharını içermektedir. Biyokütle çeşitlerinin içerdiği uçucu madde miktarı, kömür türlerinininkinden oldukça yüksektir.

Çalışmada kullanılan tüm biyokütle numunelerinin kısa analiz sonuçları bir arada değerlendirildiğinde, nem içeriklerinin %1.25 ile %14.0, uçucu madde içeriklerinin %61.27 ile %91.98, sabit karbon içeriklerinin %4.67 ile %27.62, kül içeriklerinin ise %1.04 ile %23.24 arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 4.1-4.8).

Bu çalışmada kullanılan tüm biyokütle numuneleri arasında en düşük nem içeriğine badem kabuğunun, en yüksek nem içeriğine ise kestane kabuğunun sahip olduğu saptanmıştır. Biyokütle numuneleri arasında en düşük uçucu madde içeriğine pirinç kabuğu numunesi, en yüksek uçucu madde içeriğine ise şeftali posası numunesi sahiptir. Sabit karbon içeriği en düşük olan numunenin fasulye sapı, en yüksek olan numunenin ise kestane kabuğu olduğu saptanmıştır. Tüm biyokütle numuneleri arasında kül içeriği en fazla olan numune pirinç kabuğu, en düşük kül içeriğine sahip numune ise kayısı çekirdeğidir.

Biyokütle numunelerinin kısa analiz sonuçları gruplar halinde ele alınarak sekiz başlık altında değerlendirilmiştir.

4.1.1 Tahıl Kabuğu Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları

Tahıl kabuklarının kısa analiz sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, tahıl kabuğu numunelerinin nem içeriklerinin %10.25 ile %12.50 arasında değiştiği görülmüştür. Tahıl kabukları arasında en düşük nem içeriğine ayçekirdeği kabuğunun, en yüksek nem içeriğine ise nohut dış kabuğunun sahip olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak, sekiz farklı tahıl kabuğunun nem içeriklerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1 incelendiğinde, tahıl kabuklarının kuru baz temel alınarak hesaplanmış olan uçucu madde içeriklerinin, %61.27 ile %85.44 arasında değiştiği görülmektedir. Uçucu madde içerikleri geniş bir aralıkta değişen tahıl kabuğu numuneleri arasında, en düşük uçucu madde içeriğine pirinç kabuğu, en yüksek uçucu madde içeriğine ise bakla dış kabuğunun sahip olduğu saptanmıştır.

Tahıl kabuğu numunelerinin kuru temelde hesaplanmış olan uçucu madde ile kül yüzdelerinin toplamının 100'den çıkartılmasıyla bulunan sabit karbon içeriği ise %7.04-%22.34 arasında değişmektedir (Tablo 4.1). Sabit karbon içeriği en yüksek olan numunenin bakla iç kabuğu olduğu, en düşük sabit karbon içeriğine ise susam kabuğunun sahip olduğu saptanmıştır. Bu durumda, bakla iç kabuğu numunesinin sabit karbon içeriği, susam kabuğununkinden %217 kadar daha fazladır.

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ