



TARSUS
ÜNİVERSİTESİ

T.C.

TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ÇEŞİTLİ TARIMSAL ATIKLARDAN ELDE EDİLEN
BİYOPELETLERİN BAZI YAKIT ÖZELLİKLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

EŞREF TOPKOÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS- 2023

T.C.
TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ÇEŞİTLİ TARIMSAL ATIKLARDAN ELDE EDİLEN
BİYOPELETLERİN BAZI YAKIT ÖZELLİKLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

EŞREF TOPKOÇ

Danışman: PROF. DR. ZEHRA YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2023

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma, jüri tarafından Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Zehra YILDIZ
(Danışman)

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Fikri EGE

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Tahir ERDİNÇ

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../2023 tarih ve/.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylarım.
.../.../2023

Prof. Dr. Osman Murat ÖZKENDİR
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ETİK BEYANI

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 20 / 06 / 2023

İMZA

Eşref TOPKOÇ

ÖZET

ÇEŞİTLİ TARIMSAL ATIKLARDAN ELDE EDİLEN BİYOPELETLERİN BAZI YAKIT ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

EŞREF TOPKOÇ

Yüksek Lisans, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Zehra YILDIZ

Haziran 2023, 105 sayfa

Fosil yakıtlar enerji ihtiyacının sağlanmasında, ucuz, yaygın kullanılması, çok iyi bilinen bir teknolojisi olması ve enerji yoğunluğunun yüksek olması gibi nedenlerle çevreye zarar vermesine rağmen uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu çalışmada sera atıkları peleti, odunsu atık peleti, çam peleti, çam+mdf peleti, ayçiçeği kabuğu peleti, fındık küspesi peleti ve kavak+kozalak peleti olmak üzere biyopeletlerin üst ısı değeri, kısa analiz ve kimyasal analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları ISO 17225-6, ONORM M 7135, DIN, ITEBE, SS 18 71 70, Pelet Yakıt Enstitüsü, CTI-R 04/5, PFI, CAN, EN ile karşılaştırılarak standartlara en uygun pelet türleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca üst ısı değeri kısa analiz ve kimyasal analizlerine göre biyokütle için kullanılan üst ısı değeri veren matematiksel modellere uygunluğu belirlenmiştir. Kısa analiz ve elementel analiz için yedi farklı eşitlik kullanılmış olup; E1, E2, E3, E4, E5, E6 ve E7 biyokütlenin kül, uçucu madde ve sabit karbon içeriklerini dikkate alarak üst ısı değeri tahmin etmek için kullanılmıştır. Karbon, hidrojen, azot ve kükürt gibi kimyasal analiz sonuçlarına göre E8, E9, E10, E11, E12, E13 ve E14 modelleri üst ısı değeri tahmin etmek için kullanılmıştır. Deneysel olarak belirlenen üst ısı değerler (ÜİD) ile en uyumlu olan kısa analiz sonuçlarından hesaplanan ÜİD denkleminin E4 olduğu belirlenmiştir. Bu denklemlere göre biyopeletin ısı değerini uçucu madde ve sabit karbon miktarı etkilemiştir. Deneysel olarak belirlenen ÜİD ile en uyumlu olan elementel analiz sonuçlarından hesaplanan ÜİD denklemi sadece karbon miktarına bağlı basit bir denklem olan E8'dir. Kısa analiz ve elementel analiz modelleri için sırası ile en iyi R² değerleri 0.8721 ve 0.7234'dir.

Anahtar kelimeler: Biyopelet, alternatif yakıtlar, katı yakıt, üst ısı değer, kısa analiz

ABSTRACT

EVALUATION OF SOME FUEL PROPERTIES OF BIOPELETS FROM DIFFERENT AGRICULTURAL WASTES

EŞREF TOPKOÇ

Master Thesis, Department of Energy Systems Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Zehra YILDIZ

Jun 2023, 105 pages

Fossil fuels have been used for many years to meet the energy need, although they are cheap, widely used, have a very well-known technology, and have a high energy density, even though they harm the environment. In this study, upper calorific value, brief analysis and chemical analysis of biopellets including greenhouse waste pellet, woody waste pellet, pine pellet, pine+mdf pellet, sunflower shell pellet, hazelnut pulp pellet and poplar+cone pellet were made. Analysis results were compared with ISO 17225-6, ONORM M 7135, DIN, ITEBE, SS 18 71 70, Pellet Fuel Institute, CTI-R 04/5, PFI, CAN, EN with the most appropriate pellet types. In addition, the upper calorific value was determined according to the short analysis and chemical analysis, and its compatibility with the mathematical models used for biomass that gives the upper calorific value. Seven different equations were used for brief analysis and elemental analysis; E1, E2, E3, E4, E5, E6 and E7 were used to estimate the upper calorific value by considering the ash, volatile matter and fixed carbon contents of the biomass. E8, E9, E10, E11, E12, E13, and E14 models were used to estimate the upper calorific value according to the results of chemical analysis such as carbon, hydrogen, nitrogen and sulfur. It was determined that the upper calorific value equation calculated from the results of the short analysis, which was most compatible with the experimentally determined the upper calorific values, was E4. According to these equations, the thermal value of the biopellet was affected by the amount of volatile matter and fixed carbon. The upper calorific value equation calculated from the elemental analysis results, which is most compatible with the experimentally determined the upper calorific value, is E8, which is a simple equation dependent only on the amount of carbon. The best R2 values for short analysis and elemental analysis models are 0.8721 and 0.7234, respectively.

Keywords: Biopellet, alternative fuels, solid fuel, upper calorific value, brief analysis

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesi aşamalarında bugüne kadar vermiş olduğu desteklerinden dolayı ve her zaman yanımda olduğunu hissettiren danışmanım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Zehra YILDIZ'a, tez çalışmasında laboratuvar çalışmalarımın gerçekleştirilmesi kapsamında kapılarını açan Afyon Kocatepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünden değerli hocam Sayın Prof. Dr. Meltem Dilek'e, laboratuvar çalışmalarımda desteklerinden dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi'nden İbrahim Yalçınkaya'ya ve iyi günümde kötü günümde her daim desteklerini hissettiğim değerli Babam ve değerli Anneme sonsuz teşekkür ederim.

KISALTMALAR

AB: Avrupa Birliği

AKP: Ayçiçeği Kabuğu Peleti

ANFIS: Uyarlanabilir Nöro-bulanık Çıkarım Sistemi

AR-GE: Araştırma Geliştirme

CEN : Evrensel Avrupa Katı Hal Pelet Yakıt Standardı

CO₂ : Karbondioksit

ÇAP: Çam Peleti

ÇMP: Çam+Mdf Peleti

DIN plus: Almanya Standardı

EJ: Eksajul

EPC: European Pellet Council

ETKB: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

IEA: International Energy Agency

ISO: İstanbul Sanayi Odası

FAO: Food And Agriculture Organization

FIS: Bulanık Çıkarım Sistemi

FKP: Fındık Küşpesi Peleti

GW: Giga Watt

KG : Kilogram

KKP: Kavak + Kozalak Peleti

LHV: Düşük Isıtma Değeri

MAE: Ortalama Mutlak Hata

MJ: Mega Joule

MTA: Maden Tetkik ve Arama

MTEP: Milyon Ton Eşdeğer Petrol

MW: Mega Watt

OAP: Odunsu Atık Peleti

ONORM: Avusturya Standardı

OPEFB: Palmiye Yağı Boş Meyve Demeti

OPF: Palmiye Yaprağı

OPM: Palmiye Yağı Mezokarpı

OPS: Palmiye Yağı Kabuğu

PFI: Amerikan Pelet Yakıtları Enstitüsü

PJ: Peta Joule

RMSD: Kök Ortalama Kare Sapma

SAP: Sera Atıkları Peleti

SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu

TC: Technic Committee

TKİ : Türkiye Kömür İşletmeleri

TMMOB : Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

UN : Birleşmiş Milletler

ÜİD: Üst Isıl Değer

WEO: World Bioenergy Association

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Kömürlerin Sınıflandırılması.....	6
Şekil 1.2. Dünya Birincil Enerji Kaynakları Dağılımı.....	11
Şekil 1.3. 2021 Yılı Dünya Kömür Üretiminde Başlıca Ülkeler.....	11
Şekil 1.4. 2021 Yılı Dünya Kömür Tüketiminde Başlıca Ülkeler.....	12
Şekil 1.5. Odunun Makroskopik Yapısı.....	13
Şekil 2.1. Biyoyakıtların Gruplara Ayrılması.....	15
Şekil 2.2. Biyoyakıtların İşlenmemiş ve İşlenmiş Hallerine Göre Sınıflandırılması.....	17
Şekil 2.3. Türkiye'nin Biyoetanol Üretimi.....	23
Şekil 2.4. Biyobriket Üretimi Basamakları.....	28
Şekil 2.5. Pelet ve Briket Oluşumu.....	30
Şekil 2.6. Biyokütle Kaynaklarından Elektrik Üretimi.....	31
Şekil 2.7. Biyokömür Yapısının Sıcaklıkla Değişimi.....	34
Şekil 3.1. Biyopeletler.....	36
Şekil 3.2. Pelet Yakıtı Örnekleri.....	37
Şekil 3.3. Peletleme makinaları örnekleri.....	39
Şekil 3.4. Silindirik Presleme.....	39
Şekil 3.5. Düz Presleme.....	39
Şekil 3.6. Küresel Pelet Üretim Gelişimi.....	41
Şekil 3.7. Pelet Üretimi Teknolojisi Aşamaları.....	43
Şekil 3.8. Değişik Enerji Kaynaklarının CO ₂ Emisyonları.....	44
Şekil 3.9. Biyokütle Peletleme Proses Basamakları.....	46
Şekil 3.10. Peletleme Mekanizması.....	48
Şekil 4.1. Biyopelet Türleri.....	70
Şekil 4.2. Etüv.....	71
Şekil 4.3. Hassas Terazî.....	71
Şekil 4.4. Kül Fırını.....	72
Şekil 4.5. Kalorimetre Cihazı.....	72
Şekil 4.6. CHNS Analizörü.....	73

Şekil 5.1. Deneysel ve Kısa Analiz Sonuçları ile Hesaplanan Üst Isıl Değerler Arasındaki İlişki.....	83
Şekil 5.2. Deneysel ve Elementel Analiz Sonuçları ile Hesaplanan Üst Isıl Değerler Arasındaki İlişki.....	86

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Kömür Oluşumunda Ortalama Hidrokarbon Oranları.....	7
Tablo 1.2. Kömürden Farklı Yöntemlerden Elde Edilen Ürünlerin Kullanım Alanları....	8
Tablo 2.1. Biyoyakıt Hammaddeler ve Özellikleri.....	18
Tablo 2.2. Farklı Bitkilerden Etanol Üretim Verimi.....	22
Tablo 2.3. Dünya Biyoetanol Üretim ve Tüketim Miktarları.....	24
Tablo 2.4. Biyogaz Santralleri Toplam Elektrik Kurulu Gücü.....	26
Tablo 2.5. Dünya ve Türkiye Biyoyakıt ve Atıklardan Elektrik Üretimi	32
Tablo 2.6. Dünya Toplam Biyokütle Arzı	32
Tablo 3.1. Tarımsal Kaynaklı Ürünlerin Üretim Miktarları ve Enerji Kapasiteleri.....	42
Tablo 3.2. Biyokütleden Üretilen Pelet ve Biriketlerin Özellikleri.....	45
Tablo 3.3. Biyopelet Standartları.....	55
Tablo 3.4. Peletin Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması.....	57
Tablo 5.1. Peletlerin Fiziksel Özellikleri, Kısa Analiz ve Üst Isıl Değer Sonuçları	76
Tablo 5.2. Pelet Numunelerinin Elementel Analiz Sonuçları.....	79
Tablo 5.3. Pelet Numunelerinin Kısa Analiz Sonuçları.....	80
Tablo 5.4. Kısa Analiz Sonuçlarına Göre Üst Isıl Değeri Modelleri.....	81
Tablo 5.5. Kısa Analiz Sonuçlarına Göre Üst Isıl Değer Tahminleri.....	81
Tablo 5.6. Elementel Analiz Sonuçlarına Göre Üst Isıl Değer Eşitlikleri.....	84
Tablo 5.7. Elementel Analiz Sonuçlarına Göre Üst Isıl Değer Tahminleri.....	84

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
GİRİŞ.....	1

BÖLÜM I

KATI YAKITLAR

1.1. Katı Yakıt Kavramı ve Önemi.....	4
1.2. Katı Yakıtların Özellikleri ve Gruplandırılması.....	5
1.3. Kömür.....	6
1.3.1. Linyit.....	9
1.3.2. Taş Kömürü.....	9
1.3.3. Turba.....	10
1.3.4. Antrasit.....	10
1.4. Dünya’da ve Türkiye’de Kömürün Durumu.....	10
1.5. Odun.....	12
1.6. Odunun Özellikleri ve Kullanımı.....	13
1.7. Dünya’da ve Türkiye’de Odunun Durumu.....	14

BÖLÜM II

BİYOYAKITLAR

2.1. Biyoyakıtların Özellikleri.....	16
2.2. Biyoyakıtın Etkileri.....	16
2.3. Biyoyakıt Türleri.....	17
2.4. Biyoyakıt Üretiminde Hammaddelerin Özellikleri.....	18
2.5. Biyoyakıtların Avantajları ve Dezavantajları.....	19
2.6. Sıvı Biyoyakıtlar.....	19

2.6.1. Biyodizel ve Üretimi.....	19
2.6.1.1. Biyodizelin Türkiye’deki Durumu.....	20
2.6.1.2. Biyodizelin Dünya’daki Durumu.....	20
2.6.2. Biyo-Etanol ve Üretimi.....	21
2.6.2.1. Biyo-Etanolün Türkiye’deki Durumu.....	22
2.6.2.2. Biyo-Etanolün Dünya’daki Durumu.....	23
2.6.3. Biyo-Metanol.....	24
2.7. Gaz Biyoyakıtlar.....	25
2.7.1. Biyogaz ve Üretimi.....	25
2.7.1.1. Biyogazın Türkiye’deki Durumu.....	25
2.7.1.2. Biyogazın Dünya’daki Durumu.....	27
2.8. Katı Biyoyakıtlar.....	27
2.8.1. Biyobriket.....	28
2.8.1.1. Biyopelet ve Biyobriketlerin Türkiye’deki Durumu.....	30
2.8.1.2. Biyopelet ve Biyobriketlerin Dünya’daki Durumu.....	31
2.8.2. Biyokömür.....	34

BÖLÜM III

BİYOPELET

3.1. Biyopelet Kavramı ve Önemi.....	36
3.2. Biyopelet Üretimi.....	38
3.3. Dünya’da Biyopeletin Durumu.....	40
3.4. Türkiye’de Biyopeletin Durumu.....	41
3.5. Pelet Üretiminde Biyokütlenin Önemi ve Kullanım Alanı.....	43
3.6. Pelet Üretim Aşamaları.....	45
3.6.1. Biyokütlenin Kurutulması.....	46
3.6.2. Yüksek Basınç Altında Presleme.....	47
3.6.3. Peletlerin Soğutulması.....	47
3.7. Peletleme Mekanizması.....	47
3.8. Pelet Kalitesini Etkileyen Faktörler.....	48
3.8.1. Ham Biyokütlenin Cinsi.....	49
3.8.2. Ham Biyokütle Nem İçeriği.....	49
3.8.3. Proses Sıcaklığı.....	50

3.8.4. Ham Biyokütlenin Partikül Boyutu.....	50
3.8.5. Bağlayıcı Türü ve Miktarı.....	51
3.8.6. Peletleme Basıncı.....	52
3.9. Biyopelet Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları.....	52
3.10. Biyopelet Standartları.....	53
3.11. Peletin Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması.....	57
3.12. Önceki Çalışmalar.....	58

BÖLÜM IV

MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal.....	70
4.2. Metot.....	73
4.2.1. Nem Tayini.....	73
4.2.2. Kül Tayini.....	74
4.2.3. Uçucu Madde Miktarı Tayini.....	74
4.2.4. Sabit Karbon Miktarı Tayini.....	74
4.2.5. Isıl Değerinin Belirlenmesi.....	74
4.2.6. Elementel Analiz Değerlerinin Belirlenmesi.....	75

BÖLÜM V

BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Tarımsal Atıklardan Elde Edilen Biyopeletlerin Yakıt Özelliklerinin Uluslararası Standartlarla Karşılaştırılması.....	76
5.2. Biyopeletlerin Kısa Analiz ve Elementel Analiz Sonuçlarına Göre Üst Isıl Değerlerinin Belirlenmesi.....	80

BÖLÜM VI

SONUÇ VE ÖNERİLER

SONUÇ ve ÖNERİLER.....	87
KAYNAKÇA	88
ÖZGEÇMİŞ	105

GİRİŞ

Dünya’da nüfusun hızlı artışı, iklim değişikliği, kuraklık, teknolojinin gelişmesi ve sanayileşmenin artmasına bağlı olarak enerji gereksinimi yıllar boyunca yükseliş görülmektedir. Enerji gereksiniminin fosil yakıt kullanımı oranında artışa bağlı olarak fosil yakıt rezervlerinde de hızlı bir azalma meydana gelmektedir. Fosil enerji kaynakların birtakım bazı dezavantajları olup yakıldıkları zaman iklimde değişikliğe sebep olan kirlenici özelliğe sahip sera gazlarının yayılımını ve küresel ısınma gibi çevresel etkilere yol açarak asit yağmurlarını oluşturmaktadır. Fosil kaynak rezervlerinin sınırlı miktarlara sahip olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini ise her geçen gün artacağı belirtilmektedir (Dağtekin ve Gürdil,2021:75-81). Her geçen gün artmakta olan yüksek enerji talebi sonucunda ise hem sınırlı hem de çevreye negatif durumlar yaratan fosil enerji kaynaklarına yönelik çabaların ciddi oranda ivme kazanmasına sebep olmaktadır (Shafiee ve Topal,2009:181-189).

Dünya çapında enerji ihtiyacının artmasının sonucunda çözüm arayışları yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi artırmaktadır. Fosil yakıtların zararları arasında en önemli olan etkenlerden birisi insanlar üzerindeki bulunan etkilerdir. Fosil yakıtların yanması ile birlikte yayılan gazlar ve fosil parçacıkları birçok kişide solunum yolu hastalıklarına neden olabilmektedir. Bu durum ise başta kanser olmak üzere birçok hastalığı tetiklemektedir. Bunun yanı sıra, asit yağmurlarının oluşmasına ve havanın kirlenmesine de neden olmaktadır. Kirlenen hava belirli bir süre sonra asit yağmurlarına dönüşmekte ve asit yağmurları ise çevredeki bitki örtüsünün yok olmasına sebep olmaktadır. Bu asit yağmurları akarsular ve nehirlere akmasından dolayı burada yer alan canlılar da asit yağmurları ile birlikte yok olmaktadır. Ayrıca ozon tabakasının incelmeye hatta ozon tabakasının delmesi ise en büyük zararları arasında yer almaktadır. Ozon tabakasının delinmesi dünya üzerinde yer alan canlıların hayatlarının tehlikeye girmesine sebep olmaktadır. Ozon tabakasının delinmesi küresel ısınmaya sebep olurken, buzulların eriyerek dünyanın sular altında kalmasına da sebep olacaktır. Bunun sonucunda iklimlerin değişmesine neden olacaktır. Fosil yakıtlar havadaki oksijenin azalmasına ve karbondioksitin artmasına da sebep olmaktadır. Havadaki karbondioksit miktarını artırmasından dolayı oksijen miktarının düşmesine neden olmasından dolayı canlıların yaşamını da tehlikeye atmaktadır.

Dünya’da fosil yakıt kullanımının sebep olduğu sera gazı emisyonlarının küresel ısınma konusundaki tehditler her geçen gün artmakta olup, fosil yakıt rezervlerinin de giderek azalması ülkelerin politikalarını değiştirerek çevre dostu, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesini teşvik etmektedir. 1970-2004 yıllarını kapsayan dönemde fosil yakıt kullanımından kaynaklı CO₂ salımı yaklaşık %80 olup, küresel sıcaklık ise 0.5 °C’lik artış ortaya çıkmıştır. Hava kirliliğinin bu seviyelerde sürmesi durumunda önümüzdeki 100 yıl içerisinde sıcaklığın 4-5 °C, deniz seviyesinde de 2.2 m yükselmesi ön görülmektedir. (IPCC, 2011).

Fosil yakıt kullanımını azaltmak için güneş enerjisi kullanımına ve güneş enerjisi panellerinin sayısını artıracak çalışmaların yapılması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji yatırımları teşvik edilerek ve bu doğrultuda olan projelerin desteklenmesi gerekmektedir. Bu alanda AR-GE çalışmalarına daha çok pay ayrılmalıdır. Bununla birlikte rüzgar enerjisi üretimine yönelik yatırımlar yapılarak uygun yerlerde yaygınlaşması sağlanmalıdır. Alternatif enerji kaynaklarının önemi vurgulanarak her geçen gün kullanımının artması teşvik edilmelidir. Alternatif enerji kaynaklarından elde edilecek enerji üretimi hem çevresel hem de canlıların sağlığı gibi etkenler üzerinde olumlu gelişmelere yol açacaktır.

Dünya’da her geçen gün artmakta olan nüfus ve sanayileşme sonucunda artan enerji gereksiniminin çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklar arasında hatta en önemlisi olarak biyokütle enerjisi gelmektedir. Biyokütlenin tükenmez bir kaynak olmasından dolayı ve her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik açıdan gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak yer almaktadır. Biyokütle örnek olarak, mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkileri, otları, yosunları, evlerden atılan meyve ve sebze atığı gibi tüm organik çöpleri, hayvan dışkılarını, gübre ve sanayi atıkları sayılabilir.

Ülkemizde her yıl yüksek oranlarda tarımsal artık meydana gelmesine rağmen bu artıkların enerji üretimi amacına yönelik kullanımı son derece düşüktür. Tarımsal artıklar yakıt üretimine yönelik olarak önemli bir potansiyel olup, başlıca tarımsal artıklar arasında ise ayçiçeği, mısır, pamuk ve tahıl samanları ile meyve bahçelerinde açığa çıkan budama artıkları gelmektedir. Bitkisel artık olarak ele alındığında ise domates, patlıcan, biber, enginar, hıyar ve patates artıkları sayılabilir. Biyokütle artıkları varolan potansiyellerine karşın, enerji kaynağı şeklinde kullanımı olarak ise değerlendirilememektedir.

Ağırlıklı olarak bu artıklar gübre amacıyla toprağa gömülmekte, toplanarak doğrudan yakılmakta veya çürümeye bırakılmakta ya da hayvanlara ot verilmesi amacı ile depolanmaktadır.

Biyopeletler; talaş, odun yongaları, ağaç kabukları, fındık kabukları, badem kabukları, ceviz kabukları, zirai ürünler, mısır koçanları, pancar küspesi, ayçiçeği çenekleri, kurumuş zeytin ve kiraz çekirdekleri, ekinlerin sapları ve atık kâğıt maddeleri olmak üzere birçok atık biyokütleleri ile melas, nişasta ve zeolit gibi bağlayıcı maddeler ya da bağlayıcısız olarak üretilmektedir. Biyokütlenin pelet haline gelmesi ile ısı değeri yüksek ve yığın yoğunluğu düşük bir katı yakıt elde edilir. Ayrıca biyokütlenin yanma özellikleri iyileşir ve çevreye zararlı emisyonlar azalır. Bunun yanı sıra, biyopeletler atık biyokütlelerden elde edildiğinde atıkların geri kazanılarak değerlendirilmesi ile hem ekolojik hem de ucuz yerli ve de yenilenebilir bir yakıt elde edilir.

Bu çalışmada sera atıkları peleti, odunsu atık peleti, çam peleti, çam+mdf peleti, ayçiçeği kabuğu peleti, fındık küspesi peleti ve kavak+kozalak peleti olmak üzere yedi çeşit tarımsal artıklar ele alınmış olup biyopeletlerin yakıt teknik özellikleri belirlenmiştir. Pelet numunelerinin çap, uzunluk, parça yoğunluğu gibi mekanik özellikleri, nem miktarı, kül miktarı, sabit karbon miktarı, uçucu madde miktarı gibi kısa analizi, ısı değeri, azot, hidrojen, oksijen ve kükürt miktarı gibi kimyasal analiz sonuçları belirlenmiştir. Bu analizler sonucunda pelletlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri uluslararası pelet standartları ile karşılaştırılarak standartlara en uygun pelet türleri belirlenmiştir. Biyopeletlerin hem kısa analiz için hem de elementel analiz için yedi farklı eşitlik üst ısı değeri tahmin etmek için kullanılmıştır. Kısa analiz ve elementel analiz sonuçlarına göre belirlenen ısı değerler modelleri deneysel olarak belirlenen ısı değer sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM I

KATI YAKITLAR

1.1.Katı Yakıt Kavramı ve Önemi

Katı yakıtlar; linyit, odun atıkları, taş kömürü, yakıt olarak yetiştirilen ağaçlar ve ürünler, lastik türevli yakıtlar, hayvan atıkları, belediye katı atıkları, endüstriyel yan ürün ve atıklarından meydana gelmektedir. Bu yakıtların bir çoğu proses endüstrisinde ağırlıklı olarak kullanılan enerji kaynakları arasında yer almaktadır (Miller vd, 2008; Tillman,1991).

Fosil katı yakıtlar ısıtma işlemlerinde, elektrik, özellikle çelik sanayii için metalurjik kok, havagazı, sentez gazı olan hidrojen ve kimyasal maddelerden benzin, naftalin ve fenol üretiminde kullanılır. Türkiye'deki katı yakıt sanayii bir bütün olarak ele alındığında tarımdan sonra ikinci derecede yer almaktadır. Katı yakıt sanayiinin karmaşıklığı her geçen gün giderek artmaktadır. Dumansız yakıt olarak kullanılan briketler linyitten yapılmakta olup, aynı zamanda linyitlerden metalurjik kok ve sıvı yakıt yapımına da çalışılmaktadır (Given ve diğerleri,1975; Schafer,1977).

Uzun yıllardır ısınma ve yemek pişirmek için kullanılan kaynaklar biyokütle olarak tanımlanmaktadır. Isınma ve pişirme amacıyla odunun yanı sıra bitki ve hayvan artıklarının kullanıldığı kaynaklar şeklinde ifade edilebilir. Modern biyokütle kaynakları içerisinde enerji ormancılığı ürünlerinin yanı sıra ağaç ve orman ürünlerinin atıkları, enerji tarımı, tarım kesiminde yer alan kentsel atıklar, bitkisel ve hayvansal atıklar ve tarımsal kökenli endüstri atıkları gelmektedir (Sabancı vd.,2010).

Biyokütle kaynaklarından farklı işlemlerin doğrultusunda katı, sıvı ve de gaz yakıtlar olmak üzere farklı çıktılar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, yakıtların yakılması sonucunda ısı ve elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Katı biyoyakıtları ele alacak olursak geleneksel ve modern katı biyoyakıtlar olmak üzere farklı grupta ele alınmaktadır. Geleneksel katı biyoyakıtlar olarak ağaç dalları, odunlar gibi yakıtların işlenmeden sobalarda yakılması örnek olarak verilebilir.

Yüksek basınç ile sıkıştırılması sonucunda büyük kütleli yakıtlar ortaya çıkmaktadır. Bu yakıtların kullanım alanı olarak ise ısınma ve elektrik enerjisinin üretiminde yer almaktadır. Bunlara örnek olarak ise peletler ve briketler verilebilir (Karaosmanoğlu,2006; Karayılmazlar ve ark.,2011)

Ülkemizdeki en önemli fosil kaynakları arasında linyit kömürü gelmektedir. Ülkemizdeki biyokütle potansiyelinin, yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişimine yönelik olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Linyit kömürünün, briketlenmesi sonucunda katı yakıt olarak değerlendirilmesini arttırmak, biyokütle katkısı ile negatif özelliklerinin bertaraf edilmesi ve daha temiz ve verimli enerji üretebilmek günümüzün en önemli gereksinimleri arasında yer almaktadır.

1.1.Katı Yakıtların Özellikleri ve Gruplandırılması

Peletin odun, talaş ve çöp yakıt şeklinde kullanımları mevcuttur. Bunlara alternatif olarak yeni teknolojilere bağlı olarak farklı yakıtlar elde edilmesine yönelik araştırmalar gerçekleştirilmektedir. Örnek olarak vermek gerekirse İkinci Dünya Savaşı sırasında kömürden petrol elde etmek için çabaların olduğu bilinmektedir. Özellikle son yıllarda fosile olan bağımlılığın ve de hava kirliliğinin azaltılmasına yönelik olarak amaçlar belirlenmiş olup alternatif enerji kaynakları ve enerjilerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Bunlar ise biyogaz, biyodizel, biyokütle ve biyoalkol gibi biyolojik kökene sahip yakıtlar yer almaktadır (Topaloğlu,2009).

Katı yakıtların nem oranları ve sabit karbon oranı, ortaya çıkardığı kül miktarları ve kül özellikleri, tane boyutu ve fiziksel özellikleri, kükürt ve azot oranları, ısı özellikleri, uçucu madde miktarlarında bazı değişiklikler göstermektedir. Bu yapısal değişimlerin sonucunda yakıtın yanma hızı olan reaktivite parametresi üzerinde etkisi bulunmaktadır.

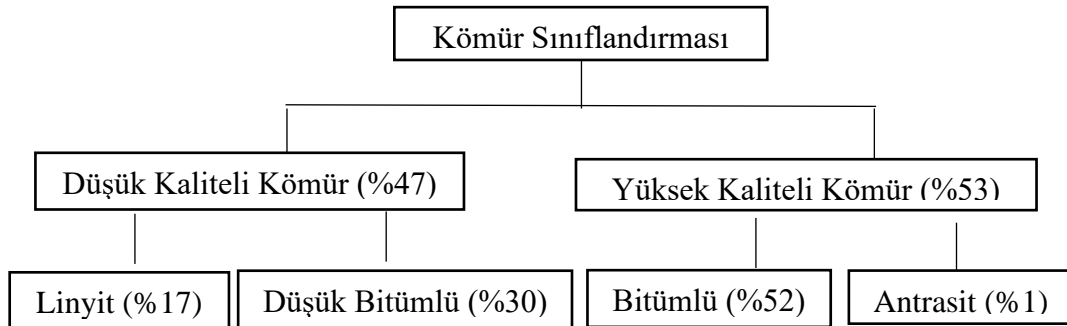
Antrasit, taş kömürü ve linyit doğal katı yakıtlar arasında gelmektedir. Katı yapay yakıtlar kok, briket ve odun kömürüdür. Sıvı yakıtlar ise iki farklı sınıfta yer almakta olup, sıvı doğal yakıtlar petrol gelirken, sıvı yapay yakıtlarda ise dizel, gaz yağı, likit petrol (lpg), ağır yağlar, katran, biyodizel ve alkol'dür.

Gaz yakıtlar da kendi içerisinde iki farklı sınıfa ayrılmakta olup gaz doğal yakıtlar için doğalgaz yer alırken, gaz yapay yakıtlar arasında metan, etan, jeneratör gazı, su gazı, hava gazı, biyogaz ve hidrojen gelmektedir.

1.2. Kömür

Kömür; farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerde heterojen içeriklerden oluşmaktadır. Kahverengi ve siyah renge sahip değişmekte olan sedimentler, yanabilir kayaç olarak ifade edilmektedir. Karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerden bir araya gelmektedir. Yerin ısı miktarı arttıkça “turba” olarak isimlendirilen ancak kömür olarak ifade edilmeyen madde, ilk olarak “linyit” ardından ise sırası ile “alt bitümlü kömür”, “taşkömürü” “antrasit” ve son olarak ise “grafit”e dönüşmektedir. Bu evreler “kömürleşme” olarak tanımlanmaktadır. (Anonim,2015). Kömürü yapan ana eleman karbon’dur. Kömür hava çevrimi bataklıklar içerisinde başlamakta olup, kömürleşmenin temel kaynakları içerisinde bitkiler, havadan ya da yüzeysel sulardan alınan karbondioksit gelmektedir.

Karbondioksitin suda çözünen bölümleri, karbonatlı kayaçlar ve organik tortularda birikmekte olup, başkalaşması sonucunda yeniden çevrim içerisine katılır. Uygun ortamlarda bataklıklarda bozunma ve çürümöden kurtulan kömürün, bitki ve kalıntı birikimlerinin, belirli bir zamanla biyokimyasal ve fiziksel etkilerle değişimi sonucunda ortaya çıkmaktadır (Kemal,1991).Kömür kalite özelliklere göre iki ana sınıfa ayrılmakta olup bu durum Şekil 1.1.’de gösterilmektedir (Anonim,2015).



Şekil 1.1. Kömürlerin Sınıflandırılması

Kaynak: Anonim, 2015

Kömürleşme sürecinde jeolojik zaman önemli parametreler arasında yer alırken karbonifer, permian ve de kraters-tersiyer dönemleri kömürleşmenin oluştuğu dönemler arasında yer almaktadır. Kömürleşme derecesi rank olarak tanımlanmaktadır. Turbalar en düşük kömürleşme derecesi özelliğine sahiptir. Bunlar tam katılaşmamış, açık kahverengi renkli, gözenekli ve su oranı yüksek organik çökeller'dir (TKİ,2020).

Tablo 1.1. Kömür Oluşumunda Ortalama Hidrokarbon Oranları (%)

Kömür	Hidrojen	Karbon	Oksijen
Turba	6	60	33
Linyit	6	70	23
Taşkömürü	3,7	82-92	2

Kaynak: MTA, 2010

Tablo 1.1'de turba, linyit ve taşkömürü evreleri yer almaktadır. Buna göre, kömürleşme derecesine bağlı olarak kömürleşme derecesi arttıkça karbon oranı da artış göstermektedir. Kömürleşme süreçlerinde en önemli etkenler arasında havasız ortamın olması, basınç, sıcaklık ve de zaman gelmektedir (MTA,2010).

Düşük dereceye sahip olan kömürler karbon miktarı doğrultusunda linyit ve alt-bitümlü kömür olarak iki farklı sınıfa ayrılmaktadır. Linyitin içeriğinde %25-35 karbon oranı var iken, alt-bitümlü kömürde ise %35-45 karbon oranına sahiptir.

Yüksek dereceli kömürler karbon miktarına göre bitümlü kömür ve antrasit olarak iki farklı gruplara ayrılır. Bitümlü kömür %45-86 karbon içeriğine sahip iken, antrasitte bu oran daha yüksek olup %86-97 karbon içeriği bulunmaktadır. (Bayrak,2014).

2010 yılında alınan kararlar çerçevesinde yayımlanan istatistiki verilerde farklılığa gidilmiş olup, UEA kömürleri UN-ECE gibi taşkömürü ve kahverengi kömür olarak iki farklı sınıfta ele alınmıştır.

- Kömürleşme derecesinin yüksek olduğu antrasit ağırlıklı olarak sanayide ve alan ısıtmasında kullanımları mevcuttur.

- Kömürleşme oranı orta ve yüksek değere sahip olan bitümlü kömürler ise gazlaştırmanın yanı sıra sanayide koklaşma ve ısının yükseltilmesi amacıyla da kullanılır.
- Üst ısıl değerleri 4777 kcal/kg (20 MJ/kg) ile 5732 kcal/kg (24 MJ/kg) aralığında olan kömürler külsüz ancak nem bazlı ve yığın olmayan kömürler, alt bitümlü kömür
- Üst ısıl değerleri 4777 kcal/kg (20 MJ/kg)'dan daha düşük olup, yığın olmayan kömür ise linyit olarak tanımlanmaktadır. (Anonim,2015).

Tablo 1.2. Kömürden Farklı Yöntemlerden Elde Edilen Ürünlerin Kullanım Alanları

YÖNTEMLER	ELDE EDİLEN ÜRÜNLER	KULLANIM ALANLARI
Koklaştırma	Amonyak Benzen Katran Kok Kömürü Şehir Gazı	Isınma Kimya Demir – Çelik Sanayi
Yakma	Isı Elektrik	Termik Santral Isınma
Gazlaştırma	Sentez Gazı	Isınma Demir – Çelik Sanayi Kimya Termik Santrali
Sıvılaştırma	Katı Yağlar Sentetik Benzin	Ulaşım Termik Santral Kimya

Kaynak: MTA,2010

Tablo 1.2’de kömürden elde edilen ürünlerin ve kullanım alanları yer almakta olup, demir-çelik, ısınma, ulaşım ve termik santraller gibi birçok farklı kullanım alanları bulunmaktadır. Tablo 1.2’de yer alan kullanım alanları uygulanan teknolojilere göre farklılık göstermektedir.

Metamorfizma şiddeti turbadan grafitte doğru gidildikçe basınç ve sıcaklığın da etkisi buna bağlı olarak artmaktadır. Karbon yüzdesi ve kalori miktarı artış gösterirken, bunun yanı sıra su ve uçucu maddeler ise azalmaktadır. Kömürün sertliği artarken, tozlanma azalmaktadır (Kemal,1991).

1.3.1. Linyit

Linyit; ısı değeri düşük, içeriğinde yer alan nem ve kül miktarının fazla olmasından dolayı ağırlıklı olarak termik santrallerde kullanılan kömür türüdür. Yer kabuğunda yüksek rezerve sahip olmasından dolayı yoğun olarak kullanımı olan enerji hammaddeleri arasında gelmektedir.

Dünya Enerji Konseyi tarafından dünyada işletilebilir kömür rezervinin toplam 861 milyar ton hacime sahip olduğu belirtilmektedir. Türkiye’de ise ağırlıklı olarak kimyasal özellikleri bakımından düşük kaliteye sahip linyit kömürlerinin %19’dan fazla kül ve nem oranına sahip iken, %1’den fazla kükürt (S) oranına sahiptir (Ersin,2006).

Yer kabuğunda bol miktarda bulunmasından dolayı Almanya, Amerika gibi gelişmiş olan ülkelerde sık kullanılan enerji hammaddesi arasında gelmektedir. Ülkemizde de ağırlıklı İç Anadolu ve Ege bölgesi olmak üzere birçok bölgede çıkartılmaktadır. TÜİK’in verilerine göre ülkemizde linyit üretimi 2020 yılında 71,239.433 ton olarak gerçekleşmiştir. (TÜİK,2021).

1.3.2. Taş Kömürü

Taş kömürü jeolojik dönemler boyunca bitkilerin dönüşüme uğraması sonucunda meydana gelmektedir. Kalori açısından çok yüksek değere sahip olmasının yanı sıra yüksek ısı gücüne sahip olmasından dolayı enerji üretiminde önemli konumu bulunmaktadır. Kalite açısından ele alındığında da en yüksek kömürlerden birisidir.

Taş kömüründe, kömürleşme oranı daha ileri derecede olup, elde edilen enerji linyit kömüründen daha fazladır. Taş kömürünün karbon içeriği %75-90 aralığındadır.

Demir ve çelik sanayisinde büyük önem taşımakta olan taş kömürünün verdiği ısı 6000 – 9000 civarındadır. Çeliğin eritilip şekil verilmesi için duyulan sıcaklığı taş kömürü sağlamaktadır.

Taşkömürü koklaşabilir kömür sınıfında yer almakta olup, yüksek sıcaklığa sahip fırınlarda kullanılabilir kalitede koklaşma özelliği bulunmaktadır (TMMOB, Taşkömürü Raporu). TÜİK'in verilerine göre ülkemizde taşkömürü üretimi 2020 yılında 1.616.291 ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK,2021).

1.3.3.Turba

Turba suyun yoğun olduğu bataklık alanlarda düşük sıcaklık, sınırlı oksijen koşullarında, toplanan bitki artıklarının birikimi sonucunda toprak altında uzun yıllar boyunca meydana gelmiş ve de kısmen ayrılmış olan organik materyal olarak tanımlanmaktadır (Shcmilewski,1984).

1.3.4.Antrasit

Demir siyahı renge sahip olup, yan metalik parlaklığı ile bilinmektedir. Antrasitin ısı değeri ele alındığında ise yüksek sıcaklıklara hızlı bir şekilde yükselemez. Toz ve is oluşturmadiğından dolayı, uzun süreli olarak yanmasından dolayı genellikle ev yakıtı şeklinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Antrasit Amerika Birleşik Devletleri'nde sert kömür olarak tanımlanırken, Galler'de ise kaya kömürü olarak bilinmektedir. (Özpeker,1991).

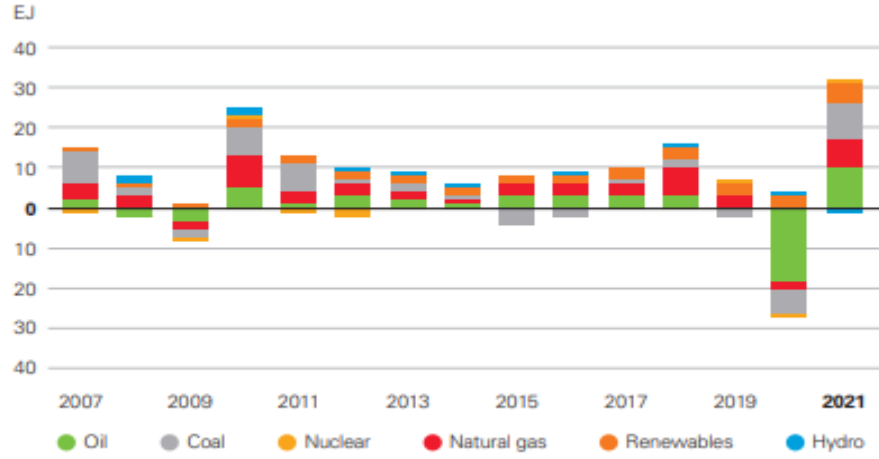
1.4. Dünya'da ve Türkiye'de Kömürün Durumu

Dünya'daki kanıtlanmış olan toplam kömür rezervi 1,035.012 milyon ton olarak hesaplanmıştır. En yüksek rezervin bulunduğu ülkeler ise Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Hindistan, Avustralya ve Rusya'dır. Ayrıca görünür rezervin dışında yeni arama çalışmaları ile mevcut rezerv arttırılabilir.

Kömürün yüksek rezerv imkanı, kömürü diğer fosil kaynaklardan daha ayrıcalıklı konuma getirmektedir. Bunun yanı sıra, diğer fosil kaynaklara göre daha yaygın yani homojen dağılımı, kömürün ilerleyen yıllarda artan yatırımlar ile enerji sektöründeki yeri daha da önem kazanacaktır.

2021 yılı ele alındığında, elektrik üretiminin %30,9'u kömür, %33,2'si doğal gaz, %16,7'si hidrolik enerji, %9,4'ü rüzgar, %4,2'si güneş, %3,2'si jeotermal enerji ve %2,4'ü diğer kaynaklardan ortaya çıkmaktadır (ETKB,2021).

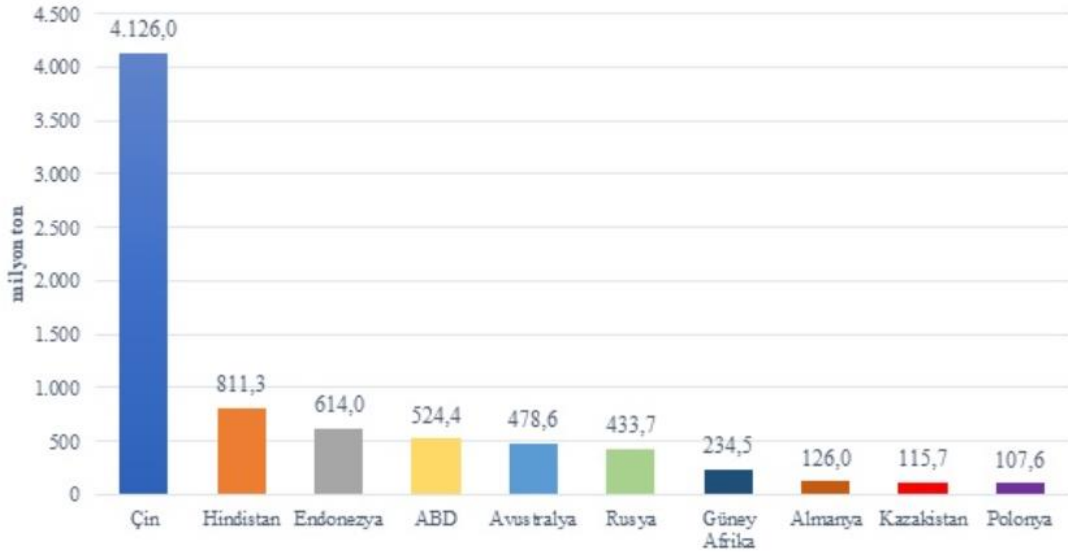
Dünya'daki birincil enerji kaynaklarına göre dağılım Şekil 1.2'de yer almakta olup, 2021 yılında kömürün kullanımı oranında artış olduğu görülmektedir.



Şekil 1.2. Dünya Birincil Enerji Kaynakları Dağılımı

Kaynak: BP, Statistical Review of World Energy 2022

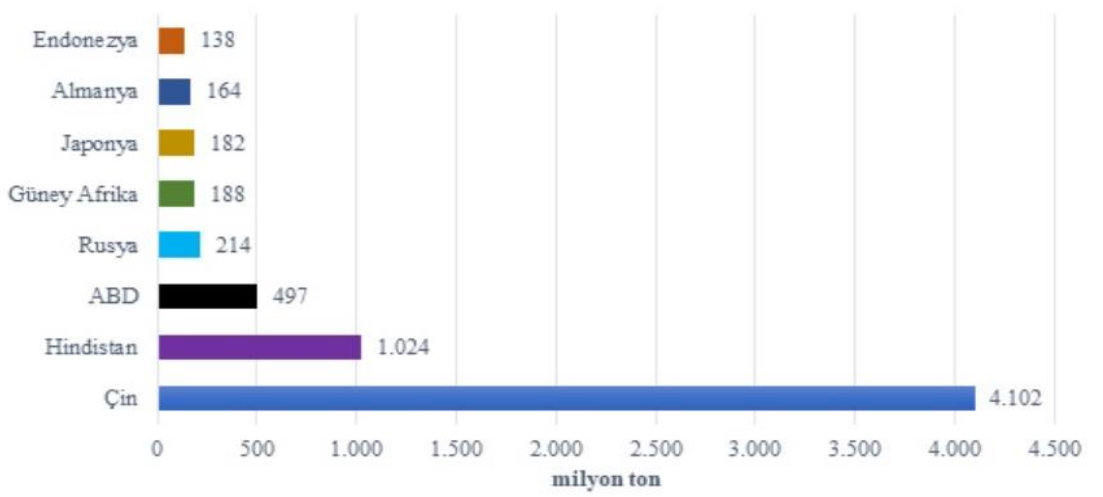
Dünya kömür üretiminde başlıca ülkeler arasında Şekil 1.3'te görüleceği üzere Çin, Hindistan ve Endonezya gelmektedir. Çin 4.126 milyon ton, Hindistan 811,3 milyon ton ve Endonezya 614,0 milyon ton kömür üretimine sahip olduğu görülmektedir (BP,2022).



Şekil 1.3. 2021 Yılı Dünya Kömür Üretiminde Başlıca Ülkeler

Kaynak: BP, 2022

Şekil 1.4'te Dünya kömür tüketimi yer almakta olup, 2021 yılında toplam 7,86 milyar ton kömür tüketimi gerçekleşmiş olup Çin, 4,1 milyar ton ile %52 tüketimle ilk sırada yer almıştır. Hindistan ve Amerika Birleşik Devletleri de kömür tüketiminde başlıca ülkeler arasında gelmektedir.



Şekil 1.4. 2021 Yılı Dünya Kömür Tüketiminde Başlıca Ülkeler

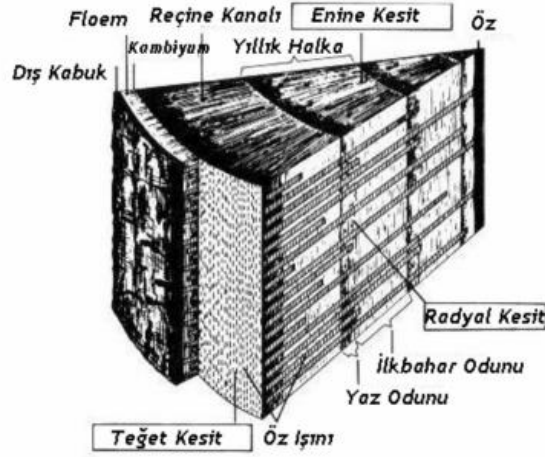
Kaynak: Enerdata, 2022

1.5. Odun

Odun; ağaç ve çalılarının gövde ve köklerini oluşturan lifli ve sert maddeler olarak tanımlanmaktadır. Odun, binlerce yıldır yakıt olarak kullanımı yaygın olup, tarihsel olarak ele alındığında bir kıvılcım yaratmak için gereken teknolojinin dağıtılması ile sınırlıydı. Odun yakıtı; odun kömürü, cips, yaprak, pelet ve talaş, levha gibi bir yakıttır. Kullanılan özel form, kaynak, miktar, kalite ve uygulama gibi faktörlere bağlıdır. Odun yandığında 2700-3800 kcal/kg ısı vermektedir (Wang ve Yan,2005:91-107; Eriksson vd.,2011:143-148; Telmo ve Lousada,2011:2634-2639; Uasuf ve Becker,2011:1357-1366). Odun yakıtı yemek pişirmek ve ısıtılmasında, buhar motoru ve buhar türbinlerini beslemesinde, ocak, soba, şömine, kamp ateşinde veya şenlik ateşinde yakıt olarak kullanılabilir.

Odunun makroskopik yapısı ele alındığında, çıplak gözle ya da lup (x10) ile görülebilen özellikleri anlaşılmaktadır. Odun hücrelerinin büyük bir çoğunluğu ağacın gövdesinde boylaması yönde olup, bu hücreler birbirlerine geçit adı verilen açıklıklarla birbirine bağlanır (Birinci,2018).

Şekil 1.5'te hücrelerin şekilleri fonksiyonlarına göre değişmekte olup, bunlar ağacın mekanik direncini sağlamasının yanı sıra sıvı iletimi fonksiyonunun yerine getirilmesi ile birlikte fazla besin maddelerini de depolamaktadır (Birinci,2018).



Şekil 1.5. Odunun Makroskopik Yapısı

Kaynak: Birinci, 2018

1.6. Odunun Özellikleri ve Kullanımı

Odunun özellikleri açısından ele alındığında, doğal ve üretim karakteristikleri olmak üzere iki sınıfta ele alınmaktadır. Bunlar yüzey işlem performansını etkilemektedir. Odunun doğal karakteristikleri arasında özgül ağırlık, rutubet miktarı, büyüme hızı, budaklar, ekstraktifler ve genç odun özellikleri gelmektedir. Üretim karakteristikleri olarak ise yüzey özellikleri, rutubet miktarı, kesit şekli, ve performans beklentisi özellikleri gelmektedir.

Yüzey işlem karakteristiği üzerindeki faktörler arasında odunun özgül ağırlığı gelmektedir. Yüksek özgül ağırlığa sahip olan odunlar düşük özgül ağırlığa sahip odunlara göre daha fazla çalışmaktadır. Odunun özellikle dış uygulama amaçlarına yönelik olarak kullanımında ekstrem sıcaklık ya da bağıl nemdeki değişikliklerin sebep olduğu farklı nem miktarları ile meydana gelmektedir. Odundaki aşırı boyut değişikliğinin bazı etkileri olurken, film oluşturan yüzey işlemlerini etkiler ve bunun sonucunda ise kabarma, çatlama veya her ikisine de neden olur (Kurdoğlu,2000). Odundaki rutubet miktarı farklı yöntemler sonucunda kolaylıkla kontrolü sağlanabilmektedir. Odun, kullanım süresine bağlı olarak ortam denge rutubet miktarını koruduğu takdirde yeterince vernik veya boya tutma özelliklerine sahiptir (Skaar,1972). Rutubet miktarı ve bağıl nemde zamana bağlı değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Belirli bir miktar iniş çıkışlar olsa da aşırı boyutsal farklılıklara yol açmamaktadır.

Bundan dolayı film oluşturan yüzey işlemleri etkilenmezken, ürünlerin kullanım süresi artar (Browning,1964).

Pelet üretiminde odun türlerinin hepsi kullanılabilir. Yumuşak odun türleri (ibrelili ağaçlar), sert odun türlerine (yapraklı ağaçlar) göre daha fazla lignini içermesinden dolayı pelet yapılmasına daha uygun olmaktadır. Odun bünyesinde yer alan ligninin doğal yapıştırıcı madde olarak, pelet üretiminde bağlayıcı madde olarak katkı sağlamaktadır (Karawandy,2007).

1.7. Dünya’da ve Türkiye’de Odunun Durumu

Odun hammaddesi ülkelere göre kullanımları farklılıklar göstermektedir. Odun ağırlıklı olarak az gelişmiş olan ülkelerde yakacak olarak kullanılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde ise ağırlıklı olarak endüstriyel ürün üretimi amaçlı olarak kullanılmasının yanı sıra ormanlardan odun üretiminin yerine rekreasyon ve koruma şeklinde amaçlar ile de kullanılmaktadır (İlter ve Ok,2007). Dünya’da enerji kaynağı olarak oduna talep her geçen gün artarken, yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanımı ise Avrupa Birliği ülkelerinde önerilmektedir (Kaplan,2007). Briket gibi odunun işlenmesi ile elde edilen ürünlerde hızlı bir gelişmenin ortaya çıkmasından dolayı biyokütle enerjisinin uluslararası alanda bir piyasası oluşmuş durumdadır (OGM,2008). Asya kıtası ülkelerinin yakacak odun üretiminde ve tüketiminde öne çıktığı görülmektedir. Hindistan ve Çin ise en büyük üretici konumunda yer alan ülkeler iken, yakacak odun dışalımında İtalya, yakacak odun dışatımında da Fransa en büyük orana sahip olan ülkelerdir (Akesen,2010).

Endüstriyel odun üretiminde Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada ilk sıralarda gelmektedir. Çin ve Japonya endüstriyel odun dışalımında öne çıkarken, Rusya ise başlıca dışatımcı ülkeler arasında gelmektedir (Akesen,2010).

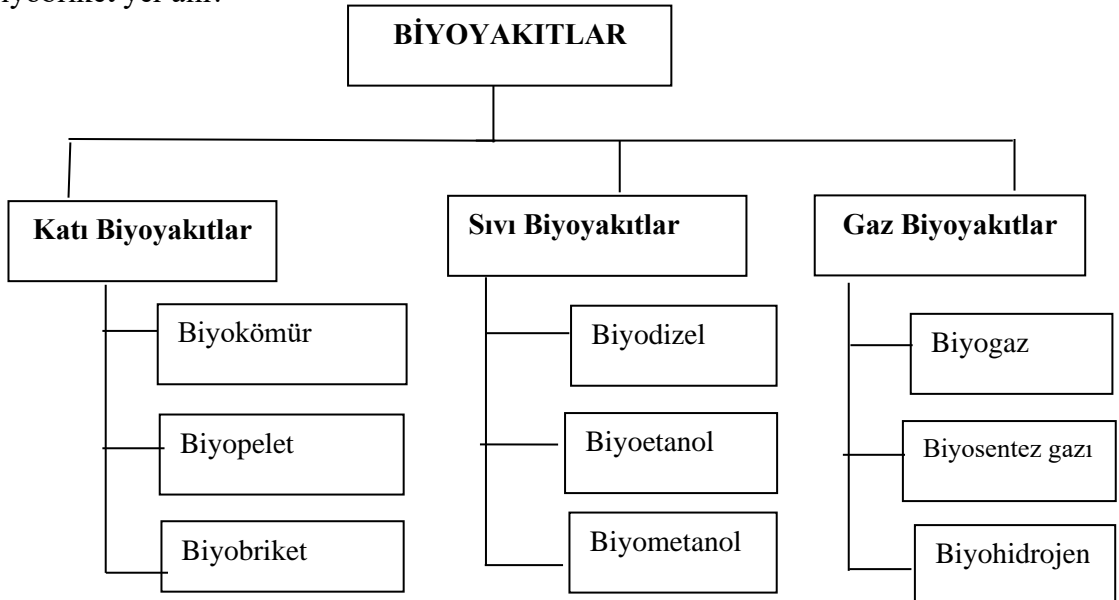
BÖLÜM II

BİYOYAKITLAR

Uluslararası alanda hızlı bir şekilde artan enerji kullanımı ülkeler için enerji arz güvenliği zafiyetine girmemesi için enerji kaynaklarının farklı türlerine ayrılması ve enerji kaynaklarının çeşitliliği süreçleri sonucunda sürdürülebilirliğin sağlanmasını önemli ölçüde zorunlu kılmaktadır.

Uzun senelerdir temel enerji kaynağı şeklinde kullanım alanı olan fosil yakıtların, yenilemez olmaları ile birlikte uzun süreçte ele alındığında çevreye de kalıcı zararlı etkileri bulunmaktadır. Global düzeyde enerji talebini karşılamak ve zararları azaltmak için biyoyakıtlar olmak üzere alternatif kaynaklara yönelmek zorunluluğu bulunmaktadır (Rodionova vd.,2017).

Biyokütle üretimi doğrultusunda biyoyakıtlar tüketilirken, atmosfere CO₂ salınımı gerçekleşmektedir. Çevreye yayılan CO₂ biyokütle sentezlenmesinde yeniden değerlendirilerek geri dönüştürülür. Bundan dolayı biyokütleden ortaya çıkan biyoyakıt kullanımı sera gazı emisyonlarının azalmasına sebep olmaktadır (Kumar vd.,2011). Biyoyakıtlar katı, sıvı ve gaz biyoyakıtlar olmak üzere 3 farklı grup olarak ele alınmakta olup Şekil 2.1'de ele alınmaktadır. Katı biyoyakıtlar arasında biyokömür, biyopelet, biyobriket yer alır.



Şekil 2.1. Biyoyakıtların Gruplara Ayrılması

Kaynak: Adıgüzel, 2011

2.1. Biyoyakıtların Özellikleri

Biyoyakıtlar, hammaddenin yerel kaynaklardan rahat bir şekilde temin edilmesinin yanı sıra, ucuz olması ve fosil yakıtlara göre daha temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında gelmektedir (Kapluhan,2014). Biyoyakıt genel anlamda, her türlü organik maddeden ortaya çıkan yakıt türü şeklinde isimlendirilmektedir. Fosil yakıtların sürdürülebilir olmamasının yanı sıra uzun dönemde kalıcı zararlar veren çevresel etkilere de sahiptir. Bu etkenlerden dolayı küresel enerji talebinin karşılanabilmesi ve çevresel zararların azaltılması için biyoyakıtlar gibi farklı kaynaklara yönelimleri zorunlu kılmaktadır (Rodionova vd.,2017:8450-8461). Biyoyakıtlar genel olarak tanımlanacak olursak, her türlü organik maddeden ortaya çıkan herhangi bir yakıt türüdür. Biyoyakıtların yanması sonucunda ortaya çıkan sera gazı emisyonlarını fosil yakıtlara göre kıyaslayacak olursak çok daha düşüktür. Sera gazlarının; hammadde üretimi, nakliye, biyoyakıt dönüşümü, biyoyakıt dağıtımı ve kullanımı olmak üzere hemen hemen her aşamada ortaya çıkmaktadır (The Royal Society). Biyoyakıtlar ağırlıklı olarak özel enerji bitkilerinden, yem, gıda ve orman artıkları gibi tarım ürünlerinden, hayvan ve insan artıklarının kullanımları sonucunda elde edilmektedir (Vassilev vd.,2015; Vassilev vd.,2013).

2.2. Biyoyakıtın Etkileri

Biyoyakıtların olumlu etkileri arasında tarımda yeni alanlar oluşturmasının yanı sıra aşırı tarımsal üretimi dengelemekle birlikte, kaynağı sınırlı olan fosil kökenli ürünlere bağımlılığı azaltmaktadır. Atık ürünlerin değerlendirilmesi ve olumlu çevresel etkisiyle iklim değişikliği tehdidini azaltmaktadır. Biyoyakıtların olumsuz etkileri ele alındığında ise tarımsal üretime dayanması sonucu artan talep ile yeni alanların gıda üretimi aleyhine gelişmesine ve güney yarım kürede tropik orman alanlarının yıllık bitkilere açılmasına ve azalan tarımsal alanlar nedeniyle gıda fiyatlarının artmasına sebep olmaktadır. Ormanların ve meraların değişimine, ek ve sürekli karbondioksit (CO₂) kayıplarına neden olmaktadır (Horuz vd.,2015:69-81).

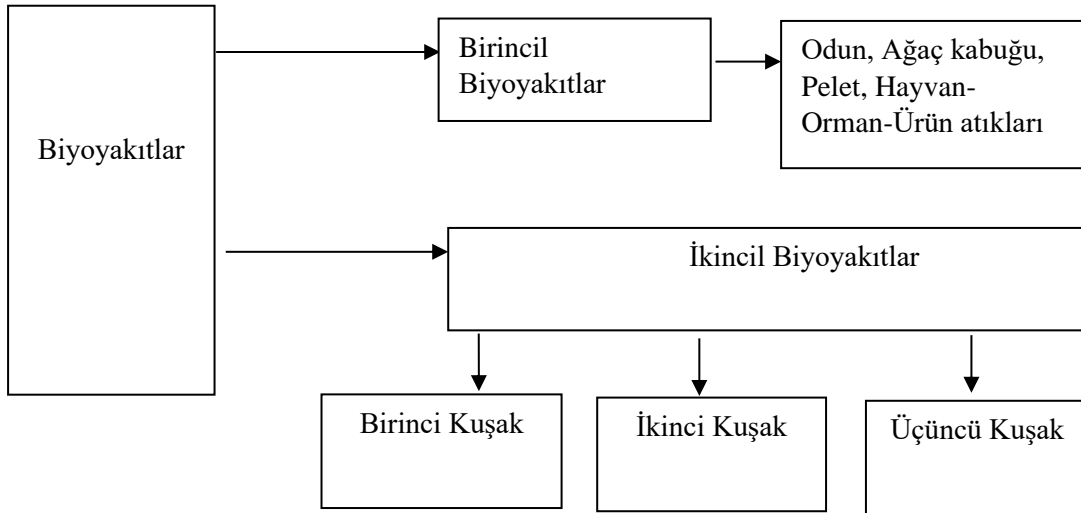
Günümüzde biyoyakıtları önemli hale getiren gerekçeleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Karadağ, 2018):

- Fosil kökenli yakıtlardan kaynaklanan çevre kirliliğinin azaltılması
- Sağlık bakımından egzoz emisyonlarının risklerini en aza indirmek.
- Enerjide dışa olan bağımlılığı azaltmak ve enerji güvenliğini sağlamak.
- Kırsal kalkınmanın gerçekleştirilmesine destek olmak (Karadağ,2018).

2.3. Biyoyakıt Türleri

Biyolojik kökenli yakıtlar fiziksel özelliklerine göre üç gruba ayrılmaktadır. Katı, sıvı ve gaz biyoyakıtlar olarak sınıflara ayrılmaktadır. Katı biyoyakıtlar biyokömür, biyopelet, biyobriket olarak üç grupta ele alınmaktadır. Sıvı biyoyakıtlar; biyodizel, biyoetanol ve biyometanol iken, gaz biyoyakıtlar ise biyogaz, biyosentez gazı ve biyohidrojen olarak sınıflara ayrılmaktadır.

Şekil 2.2’de birincil ve ikincil biyoyakıtlar olmak üzere iki gruba ayrılmakta olup, biyoyakıtların işlenmiş ve işlenmemiş hallerinin gruplara ayrılması incelenebilir. İkincil biyoyakıtları ele alındığında ise kullanılan hammadde ve teknolojiye göre üç farklı grupta ele alınır.



Şekil 2.2. Biyoyakıtların İşlenmemiş ve İşlenmiş Hallerine Göre Sınıflandırılması

Kaynak: Nigam ve Singh, 2011

Birincil biyoyakıtlar, işlenmemiş olmasından dolayı ağırlıklı olarak ısıtma, pişirme yakıtı veya elektrik üretim ihtiyaçlarını karşılanmasında direkt olarak kullanılırlar (Nigam ve Singh,2011:52-68).İkincil biyoyakıtlar ise birincil biyoyakıtların katı, sıvı ve gaz olarak işlenmesi sonucunda ortaya çıkan yakıtlardır. (FAO,2008).

2.4. Biyoyakıt Üretiminde Hammaddelerin Özellikleri

Petrol esaslı yakıtlar ile karıştırılabilme yeteneği (mevcut içten yanmalı motorlarda yakılarak) ve mevcut dağıtım ağında dağıtılabilmeleri veya mevcut alternatif taşıt teknolojisinde kullanılabilmeleri ile karakterize edilirler.

Tablo 2.1. Biyoyakıt Hammaddeler ve Özellikleri

Biyoyakıt	Özellikler
Birinci Kuşak Üretim	Çevre (abiyotik) stresine toleranslıdır.
	Hastalık ve zararlı kontrolü gelişmiştir.
	Besin kullanımı gelişmiştir.
İkinci Kuşak Üretim	Bitki besleme gelişmiştir.
	Yağ kalitesi iyileşmiştir.
	Hasat sonrası ömrü uzundur.
	İnsan besini olmayan hammaddeler kullanılabilir.
	Bitkilerin selüloz içeren bölümlerinin dönüşümü daha gelişmiştir.
	Hammaddesi alışlagelmişin dışından alanlarda üretilir.
	Birinci kuşak ile karşılaştırıldığında sera gazı salınım oranı düşüktür.
Üçüncü Kuşak Üretim	Tıbbi ve endüstriyel ürünlerden üretilir.
	Ürünler ve işlemler gıda endüstrisine ait değildir.

Tablo 2.1'e bakıldığında biyoyakıtların hammaddeleri ve özellikleri ele alınmaktadır. Termokimyasal işlemler esas olarak biyokütlenin farklı oksijen içeriklerinde ısıtılmasıdır. Termokimyasal işlemin belirgin üstünlüğü, çoğunlukla polisakkaritler üzerine yoğunlaşan biyokimyasal işlem ile karıştırıldığında, biyokütlenin sahip olduğu organik bileşenlerin tamamını dönüştürebilmesidir.

2.5. Biyoyakıtların Avantajları ve Dezavantajları

Biyoyakıtların birçok avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı olması, fosil yakıtların korunması, kül, C, FC, N, S, Si gibi zararlı elementlerin çok az miktarda yayılması, biyokütle kalıntıları ve atıkları azaltması, tehlikeye sahip (CH₄, CO₂, NO_x, SO_x, toksik eser elementleri) emisyonları azaltması gelmektedir (Vassilev vd.,2015). Bunun yanı sıra tehlikeli emisyonları azaltması, okyanus,deniz, düşük kaliteli ve tarımın gerçekleştirilemediği toprakların kullanılması, yakıt arzı ve enerji güvenliğinin farklı türlerinin olması avantajları arasında bulunmaktadır. Biyoyakıtların dezavantajları arasında ise yenilenebilir enerji kaynağının eksikliği, yenilenebilir biyokütle biyokütle hammaddelerinin güvensizliği ve biyomateryal üretimi ile rekabet, doğal ekosistemin zarar görmesi ve biyoyakıtların özellikleri ve kalitesi hakkında bilgi yetersizliği dezavantajları arasında yer almaktadır (Vassilev vd.,2015).

2.6. Sıvı Biyoyakıtlar

Biyodizel, biyoetanol, biyometanol, biyoyağ, biyobütanol ve biyodimetil eterden oluşmaktadır. Birinci nesil sıvı biyoyakıtlar; tahıllar, şeker bitkileri ve yağlı tohumlar sıvı ürünlerden elde edilmektedir. Birinci nesil sıvı biyoyakıtlar arasında bilineni ise şeker veya nişastalı ürünlerin fermantasyonu sonucundaki etanol'dür. (Nigam, vd.,2011)

Birincil nesil sıvı biyoyakıtların ortaya çıkmasında kullanılan ürünler tarım arazilerinin belirli bölümlerine ekilerek elde edilir. Bunun yanı sıra şekerler, tahıllar ve yağlı tohumlar yenilebilir gıda ürünleri olmasından dolayı fiyatlarında artışa sebep olmaktadır. Bundan dolayı yenmeyen biyokütlelerin kullanılması biyoyakıt kullanımı için daha uygun olacaktır. Orman kalıntılarından (şeker kamışı küspesi, tahıl samanı gibi), atıklardan (belediye katı atıklarının organik bileşenleri) ve özel olarak yetiştirilen bitkilerden (bitkisel otlar, enerji bitkileri) ikinci nesil sıvı biyoyakıtlar elde edilmektedir (Sims, R. E. vd.,2010).

2.6.1. Biyodizel ve Üretimi

Biyodizel, bitkisel veya hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklar sonucunda ortaya çıkan alternatif dizel yakıtıdır. Kimyasal açıdan, uzun zincirli yağ asidi mono alkil esteri olarak ifade edilebilir.

'Biyo' köken olarak biyolojik esaslı özelliklerini vurgularken, 'dizel' ise dizel yakıtı anlamına gelmektedir (Howell,1997). Biyodizel bitkisel ya da hayvansal yağların bir alkol ve katalizörün reaksiyona sokulması sonucunda üretilir.

Artan yakıt fiyatlarının ortaya çıkması ve enerji talebinin karşılanabilmesine yönelik biyodizel gibi alternatif yakıt arayışına gidilmektedir. Sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlar ve dizel yakıtlar için en uygun alternatif yakıt biyodizeldir (Demirbaş,2008).

2.6.1.1.Biyodizelin Türkiye'deki Durumu

Türkiye'deki petrol tüketimi ve egzoz gazı kirliliğinin azaltılmasında biyodizel kullanımı etkin bir rol oynayacaktır. Biyodizel üretimi ve kullanımı açısından Türkiye yeterli alt yapıya sahiptir (Akünel ve Tolay,2003).

Biyodizel üretim maliyeti açısından ele alındığında yüksek bir yakıttır. Atık yağı hammadde olarak ele alan işletmelerde üretim maliyeti daha azdır. Üretim maliyetini düşüren kalemler üretim sonucunda elde edilen yan ürünlerin (küspe ve gliserin) ele alınmasıdır. Özellikle gliserin biyodizel üretim maliyetinde önemli olup tesisin mali açıdan faydasını direkt olarak etki eden bir yan üründür.

2.6.1.2.Biyodizelin Dünya'daki Durumu

Biyodizel, dünyada son on beş yılda çok hızlı bir şekilde yükselmiştir. İlk olarak başlangıçta sadece deneme aşamasında olan biyodizelin üretimi, yıllar içerisinde endüstriyel uygulamalara dönüşmüş, bunun sonucunda yüksek kapasiteli pilot tesisler kurulmuştur. Bu hızlı gelişim; uygulama alanlarının çeşitleneceğinin, ülkelerde üretim potansiyelinin artacağı ve biyodizelin karşımıza daha farklı yapılarda çıkacağını göstermektedir. Gelişimin en önemli sebeplerinden biri olarak biyodizelin sıvı ulaşım yakıtı olabilmesidir (Işığgür,1992).

Biyodizel endüstrisinin oluşmasında Avrupa ülkelerinin yanı sıra son zamanlarda Amerika Birleşik Devletleri'nde de önemli gelişmeler olmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde "National Clean Cities" programı kapsamında biyodizel kullanılmaktadır.

Biyodizel, kolza, ayçiçek, soya ve kullanılmış kızartma atık yağlarından Twin Rivers Technology, Procter and Gamble, Pasific Biodiesel, Columbus Foods gibi firmalar tarafından üretilmektedir. Griffin Industries firması tarafından Kentucky’de kurulan dünyanın en modern tesisi, MFS Biyodizel Tesisi bu oluşum içinde önemli bir yere sahiptir. Bu ülkede vergi indirimi uygulaması olmayıp, belirli bazı düzenlemeler getirilmiş olup bunun sonucunda da deniz taşıtlarında, şehiriçi otobüslerde ve askeri taşıtlarda biyodizel ve/veya karışımlarının kullanımı mevcuttur (Yıldız,2009).

2.6.1. Biyo-Etanol ve Üretimi

Biyo-etanol, şeker kamışı özü, selüloz, tahıllar, meyveler, melas ve çok sayıda diğer kaynaklardan mikroorganizmalar tarafından şekerlerin fermentasyonu sonucunda biyolojik olarak üretilmesi olup daha sonra damıtma ile elde edilebilmektedir (Yiğitoğlu, İnal ve Gökgöz,2012). Biyoetanol farklı kaynaklardan elde edilebilen bir akaryakıt olması sonucunda dünyada ağırlıklı olarak mısır ve şeker kamışı kullanılarak üretilmektedir. Şeker pancarı, buğday, sorgum ve kasava başlıca ürünler arasında gelir.

Biyoalkol olarak tanımlanan biyoetanol renksiz, yanıcı ve oksitlenmiş özelliklere sahip hidrokarbondur (Bengisu,2014).

Glukozun maya tarafından fermente edilmesi sonucunda biyoetanol üretilir (Liu vd.,2008). Şarap ve bira üretilmesiyle temel olarak işlemler aynıdır (Harrison,2009; Guasch-Jane,2006). Tahıllar ve bitkiler güneş enerjisini kimyasal enerjiye çevirmesi sonucunda fotosentezle temel yapı taşlarına dönüştürmektedir (Leegod,2004).

Tablo 2.2. Farklı Bitkilerden Etanol Üretim Verimi

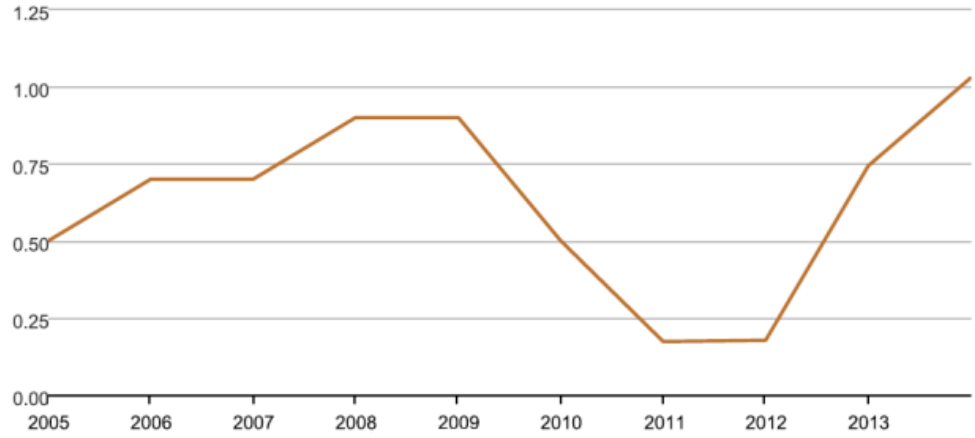
Bitki Kaynağı	Etanol Verimi (L/ha)
Buğday	2590
Tatlı Sorgum	3050-4070
Mısır	3460-4020
Şeker Pancarı	5010-6680
Şeker Kamışı	6190-7500
Çim	10760
Mikroalg	40760-1402900

Kaynak: Mussatto, S., 2010

Tablo 2.2’de farklı bitkilerden etanol üretimi verimi yer almakta olup, en fazla etanol verimi ise mikroalg, çim ve şeker kamışı ilk sıralarda gelmektedir.

2.6.2.1.Biyo-Etanolün Türkiye’deki Durumu

Biyoetanol sektöründe Türkiye’deki durumu, dünyadaki duruma göre değişiklik göstermekte olup, Türkiye’de sektörü daha henüz yeni gelişmektedir. Türkiye’deki biyoetanol üretiminde hammadde olarak, buğday, şeker pancarı, ve mısır kullanılmaktadır. Yıllık ortalama olarak 162 milyon litre üretilmekte olup, bunun %46.9’u ise yakıt için kullanılmaktadır. Yakıt için üretilen biyoetanolün %8’i ihracatı olurken, %92’si ülkenin akaryakıt gereksinimi için benzinle harmanlanması sonucunda tüketimi olmaktadır.



Şekil 2.3. Türkiye'nin Biyoetanol Üretimi (Günlük Bin Varil Cinsinden)

Kaynak: TÜİK, 2018

Şekil 2.3'e göre ülkemizin biyoetanol üretim düzeyi ele alındığında 2005-2013 yıllarında artış ve düşüşlü bir seyir izlemiştir. 2005 yılında günlük 0.5 bin varil düzeyinden 2006 yılında günlük 0.7 bin varil düzeyine artmış, 2006 ile 2007 yılları arasında sabit kalmış, 2007 ile 2008 yıllarında ise yeniden artış göstermiş günlük 0.9 bin varil düzeyine ulaşmıştır. Biyoetanol üretimi 2009 ile 2011 yılları arasında keskin bir düşüş yaşayarak günlük 0.17 bin varil düzeyine gerilemiştir. 2011 ile 2012 yıllarında stabil kalan Türkiye'nin biyoetanol üretimi 2012 yılı sonrasında ise yeniden artış olmuştur (Saraçoğlu,2017).

Biyoetanol üretiminde meydana gelen artış ve düşüşlerin nedeni ülke ekonomisi ve tarımsal destekler ile ilgili olduğu Türkiye ekonomisinin genel incelenmesiyle anlaşılmaktadır (Canan vd.,2017; Can,2017).

2.6.2.2. Biyo-Etanolün Dünya'daki Durumu

Biyoyakıt piyasasının yüzde 85'inden fazlasını meydana getiren biyoetanol üretimi 2000 yılından itibaren hızlı bir artış göstermiş olup, Dünya biyoetanol üretimi 2013 yılında 87,7 milyar litreye gelmiştir. Amerika Birleşik Devletleri ve Brezilya biyoetanol üretiminde başlıca ülkeler arasında olup, dünya biyoetanol üretiminin yaklaşık %86'sını bu iki ülke gerçekleştirmektedir. Amerika Birleşik Devletleri 2011 yılında üretim 53 milyar litreye çıkmış, 2012 ve 2013 yıllarında 50 milyar litre seviyesine gerilemiştir. Bu gerilemenin sebebi, mısır üretiminde keskin düşüş ve buna bağlı mısır fiyatlarındaki artıştır.

Brezilya’da ise 2011 yılında 19,9 milyar litre biyoetanol üretimi olup, kıtlık, don ve çiçeklenme, kamış mahsulünü olumsuz etkilemiş, dolayısıyla 2012 yılında kamış üretimi %10 oranında düşmüştür.

Tablo 2.3. Dünya Biyoetanol Üretim ve Tüketim Miktarları, Milyon Litre

	2011		2012		2013	
	Üretim	Tüketim	Üretim	Tüketim	Üretim	Tüketim
ABD	52.805	48.685	50.350	49.405	50.398	50.280
Brezilya	19.805	19.194	20.783	17.790	25.100	21.150
AB	4.392	5.490	4.561	5.672	4.553	5.447
Çin	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100
Dünya Toplamı	82.936	80.494	82.480	83.059	87.685	85.874

Kaynak: ISO, 2014

Dünya’daki biyoetanol piyasasının önde gelen 4 ülkesi/bölgesel birliği Amerika Birleşik Devletleri, Brezilya, AB ve Çin olup, Dünya biyoetanol üretimi ve tüketimi Tablo 2.3’de yer almaktadır.

2.6.3. Biyo-Metanol

Metanol, kozmetik, plastik, boya ve yakıtlar da dahil olmak üzere günlük kullanılan binlerce üründe bulunan berrak bir sıvı kimyasal özelliğine sahiptir. Metanol; otomotiv, denizcilik ve elektrik sektörlerinde kullanılan enerji kaynağı olup, gelişmekte olan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Metanol; suda çözünebilen, temiz bir yanması olan, biyolojik olarak kolayca parçalanabilen, hidrojen, oksijen ve de karbon içeren bir alkol türü arasında yer almaktadır. Metanolün çevresel ve ekonomik avantajları, onu araçlara ve gemilere güç sağlamak, yemek pişirilmesi ve evlerin ısıtılmasında her geçen gün daha da ilgisi artan bir alternatif yakıt olmasını sağlamaktadır (Methanol,2021; Ng, K.S. vd.,2011).

2.7. Gaz Biyoyakıtlar

Biyogaz, biyosentez ve biyohidrojen biyoyakıt türlerini oluşturmaktadır. Tarım atıkları yerine gıda dışı hammaddelerden üretim imkânı sağlamaktadır. Gaz biyoyakıtların yanma hızları çok yüksektir. Yüksek ısıl değere ve tam kontrollü yanma özelliklere sahiptir. Gaz biyoyakıtlar; biyogaz, singaz ve biyohidrojenden oluşmaktadır. Sıvı biyoyakıtlar içerisinde ise biyodizel, biyoetanol, biyometanol, biyodimetiler, biyoiltersiyerbutiler ve biyoyağ bulunmaktadır. (Adıgüzel,2011).

2.7.1. Biyogaz ve Üretimi

Biyogaz, organik kökenli atık ve artıkların oksijensiz ortamda fermantasyonu sonucunda oluşan; renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan bir gaz karışımıdır. Biyogaz bileşiminde, organik maddelerin bileşimine bağlı olarak yaklaşık %40-70 metan, %30-60 karbondioksit, %0-3 hidrojen sülfür ile çok az miktarda azot ve hidrojen bulunur (Kılıç,2011).

Biyogaz; ucuz, çevre dostu bir enerji ve gübre kaynağıdır. Atık geri kazanımı sağlar. Biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresinde bulunabilecek yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini kaybetmekte olup, hayvan gübresinin kokusu hissedilmeyecek ölçüde yok olmaktadır. Biyogaz üretiminden sonra atıklar yok olmamakta, üstelik çok daha değerli bir organik gübre haline dönüşmektedir (Gizlenci vd.,2008).

2.7.1.1. Biyogazın Türkiye'deki Durumu

Türkiye biyokütle kaynakları açısından oldukça zengin bir ülke olmasına rağmen üretmiş olduğunun yaklaşık 3 katı kadar enerji tüketmekte olup, enerji ihtiyacının da %70'ni ithal etmektedir.

Türkiye'de atıkların %65'i organik atıklardan oluşmasından dolayı, biyokütle kaynaklarının etkin kullanılması ülkenin enerji gereksiniminde ve sürdürülebilir ekonomik büyümeye katkılar sağlayacaktır.

Bununla birlikte her geçen gün artan çevre kirliliği probleminin giderilmesine de katkı sağlayacaktır. Biyogaz üretiminde kullanılan atıklar, enerji üretiminin ardından çevreye dost organik gübre şeklinde de kullanılabilir. (Çolakoğlu, 2018).

Türkiye'de biyogaz üretiminde kullanılacak atıklar; tarımsal atıklar, kentsel katı atıklar, ahır gübreleri, kanatlı gübresi, atık su çamuru'dur. Algler de biyogaz için kullanılabilir atıklardan olmasına rağmen Türkiye'de henüz pilot uygulama aşamasındadır (Şenol vd.,2017).

Türkiye'de ilk biyogaz tesisi 1980 yılında kurulmuştur. "100 Biyogaz Üretim Tesisi Projesi" ile 1980 sonrasında birçok biyogaz tesisi üretime geçmesine rağmen daha sonra faaliyetlerini durdurmuşlardır (Ar vd.,2010). Son yıllarda uygulanan teşvik politikaları sonucunda verilen sabit fiyat garantisi (13,3 Dolar/Kwh) gibi katkılar sonucunda biyogaz tesislerinin sayısında artış olmuştur. Türkiye'de toplamda 73 adet biyogaz, biyokütle, atık ısı ve pirolitik yağ enerji santrali bulunmakta olup, toplam kurulu gücü yaklaşık 395 MW 'dır. Kurulan biyogaz elektrik tesislerinin güçleri 0.12-34 MW arasındadır. Önemli tesisler arasında Odayeri Çöp Gazı Santrali, Mamak Çöplüğü Biyogaz Tesisi Santrali gelmektedir. Bu tesislerin üretim kapasiteleri hammaddesi olan çöpün artması nedeniyle giderek artmaktadır. Örneğin Mamak Tesisinin 150,857,860 Kwh saat elektrik üretimi ile mesken, sanayi, taşımacılık, resmi kuruluşlar vb. olmak üzere 45,576 kişinin elektrik ihtiyacını karşılayabilir (Yılmaz vd.,2018).

Tablo 2.4. Biyogaz Santralleri Toplam Elektrik Kurulu Gücü

Tesis Türü	Tesis Adeti	Toplam Kurulu Güç (MW)	Pay (%-MW)
Atık Su Arıtma	30	60	11
Organik Atık	30	120	23
Katı Atık (Çöp Gazı)	55	350	66
Toplam	100	994 (530 kayıtlı)	

Kaynak: TMMOB, 2021

Tablo 2.4'de Türkiye'de biyogaz santralleri toplam elektrik kurulu güç kapasitesi olarak toplamda 100 santral yer alırken, toplam santral kurulu gücü 994 MW'dır.

2.7.1.2. Biyogazın Dünya'daki Durumu

20. yüzyıl ortalarına doğru fosil yakıtların üretim teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler ve dünya genelinde keşfedilen yeni kaynaklar petrol fiyatlarında önemli düşüşlerin yaşanmasına neden olmuştur. Bu düşüşler yenilenebilir enerji teknolojilerinin son yüzyılda istenilen gelişimi gösterememesinin önündeki en büyük engel olarak görülebilir. Ancak 20. Yüzyılın son çeyreğinde petrolde yaşanan arz sorunları ile yükselen petrol fiyatlarına karşı yenilenebilir enerji teknolojileri yeniden gündeme gelmiştir. 2018 yılı verileri ile dünya enerji tüketimi dağılımına bakıldığında fosil yakıt oranının %82 olduğu, yenilenebilir enerji tüketim oranının ise %13 oranına sahiptir. Biyoenerjinin yenilenebilir enerji içerisindeki oranı şekilde de görüldüğü gibi %67 ile en yüksek paya sahiptir. Bu verileri %18 ile hidrolik takip etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan güneş, rüzgar, jeotermal ve geri kalan kaynaklar toplamda %15'lik dilim içinde kalmaktadır (Iea,2020).

Dünya geneli biyogaz üretimi 2013 yılı verilerine göre Dünya geneli biyogaz üretiminde Çin, Almanya ve ABD diğer ülkelerden belirgin bir şekilde ayrılmaktadır. Çin ürettiği yaklaşık toplam 15,2 milyar m³/yıl biyogaz üretimi ile dünyanın önde gelen ülkelerindedir. Avrupa Birliği ülkelerinin (28 ülke) toplam biyogaz üretimi ise 26,2 milyar m³/yıl olarak hesaplanırken, bu oran toplam dünya üretiminin %45'lik kısmını oluşturmaktadır. 2006 yılı itibarıyla Çin'de yaklaşık 18 milyon ve Hindistan'da ise 5 milyon biyogaz tesisinin olduğu düşünülmektedir. Ancak bu tesislerin önemli bir çoğunluğu basit teknolojiler ile yapılmış küçük tesislerdir (Iea,2020).

2.8. Katı Biyoyakıtlar

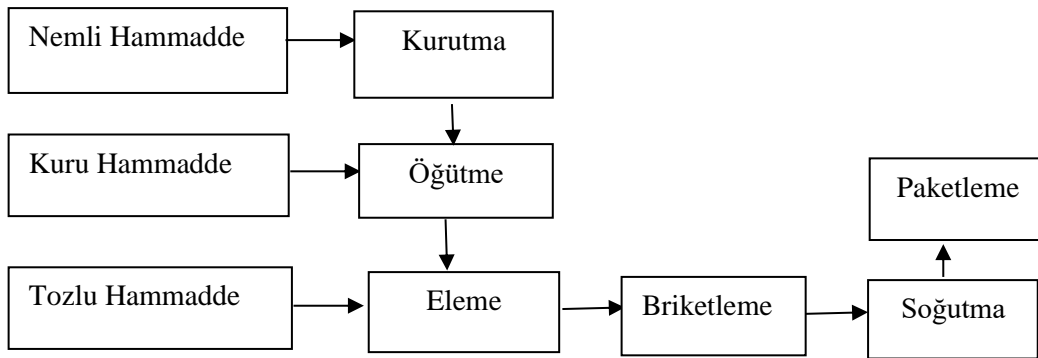
Biyoyakıt çeşitlerinden ilki olan katı biyoyakıtlar biyopelet, biyobriket ve odun kömüründen oluşmaktadır. Birinci nesil biyoyakıtlarda katı biyoyakıt sınıfına dahildir. Gıda ve yakıt rekabetine neden olmaktadır. Ancak her ne kadar biyokütlelerden meydana gelmiş olsa da fosil yakıtlar ile birlikte karıştırılınca kullanma imkanı sağlar (Güllü vd.,2017). Biyokütle, orman kalıntıları ve atıkları, tarımsal artıklar, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliğinden kaynaklanan atıklar, belediye katı atıklarının organik fraksiyonu, kanalizasyon çamuru ve algler gibi geniş bir kaynak kitlesini kapsamaktadır.

Bu kaynakların elektrik, ısı ve sıvı yakıtlar (biyo yakıtlar) gibi faydalı enerji biçimlerine dönüştürülmesi biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır (Ellabban vd,2014: 748-764).

Türkiye'nin sahip olduğu farklı iklimi, topoğrafik yapısı, toprak özelliğine bağlı olarak zengin bitki çeşitliliğine sahiptir. Tarımsal atık kökenli biyokütle enerjisinin temel ilkesi arasında bitkisel atık ve/veya artıkların yakılması neticesinde açığa çıkan ısıdan enerji elde edilmesi yer almaktadır. Türkiye'de yıllık atık miktarı yaklaşık 50 milyon ton olup, yıllık toplam enerji eşdeğeri ise 50–65 MTEP düzeyinde olup, bu atıklar maalesef yeterince değerlendirilememektedir. Enerji üretimi için kullanılabilir tarımsal atık miktarı yaklaşık 13 milyon ton olup, 228 PJ civarında ısı enerjisine sahiptir (Başçetinçelik vd.,2005; Karaca,2009). Isıl değeri açısından tarımsal atıklar içerisinde en büyük payı % 25 oranı ile 57 PJ'luk enerji potansiyeline sahip Akdeniz Bölgesi'ne aittir. Toplam ısı değeri ise yaklaşık 228 PJ olduğu görülmektedir. Toplam ısı değeri ele alındığında en yüksek paya sahip temel ürünler arasında mısır % 33.4, buğday % 27.6 ve pamuk % 18.1'lik orana sahiptir (Başçetinçelik vd.,2005; Karaca,2009).

2.8.1. Biyobriket

Briketleme ile biyokütlenin 100 –200 kg/m³ 'lik özgül kütlesi 1200 kg/m³ 'e yükseltilebilmektedir (Kürklü ve Bilgin,2005). Briket; küçük parçalar halindeki katı yakıtların, gereğinde yapıştırıcı maddelerle sıkıştırılarak biçimlenmesi yoluyla elde edilen daha büyük parça halindeki yakıttır (Acaroğlu,2003; Karaca,2009). Briketleme yöntemi ile küçük taneler haline getirilmiş bir yakıtı yapıştırıcı kullanarak ya da kullanmadan belirli bir basınç altında biçimlendirerek tek tip ve boyutta yakıt elde edilmesi işlemidir. Briketleme aşaması Şekil 2.4'te yer almaktadır. (Kaliyan ve Morey.,2009; Ulu,2011).



Şekil 2.4. Biyobriket Üretimi Basamakları

Kaynak: Ulu, 2011

Odun peletleri yüksek kaliteli bir biyokütle olarak kabul edilmektedir. (Song vd.,2012). Birçok endüstriyel ve konut uygulaması için uygun hammadde, yanma ve gazlaştırmayı da içermektedir (Song vd.,2012; Erlich ve Fransson; Chau vd.,2009; Verma 30 vd.,2011; Yan ve Lin,2009). Ticari peletleme proseslerinde talaş silindirler tarafından kalıplardan zorlanması sonucunda silindirik şekillerde peletler elde edilir.

Biyobriketler, sorunları çözmek için bir kompozit yakıt olarak incelenmiş olup ham kömüre daha iyi bir alternatif olarak önerilmiştir (Lu vd.,1998). Ayrıca kireç bazlı ürünlerin kömürde olduğu kadar iyi kükürt giderme özelliklerine sahip olduğunu da ortaya koymuştur. Ayrıca biyobriketler kömürden daha iyi yanma ve yakıt özelliklerine sahiptir ve kömür veya yakacak odun yerine kullanılabilir. Biyobriketler ilk olarak Nepal'de 1992-1995 yılları arasında "Ulusal Alternatif Enerji Araştırma ve Geliştirme Merkezi" ortak araştırma projesi aracılığıyla tanıtıldı. Projede, yüksek basınçlı sıkıştırma teknolojisi kullanılarak yerel olarak mevcut kömür, linyit ve farklı atık biyokütleyle dayalı biyobriketlerin geliştirilmesi üzerinde çalışılmıştır (Singh ve ark.,1996). Farklı kalıntı biyokütle (ağırlıkça %30'a kadar), pişirme amacıyla test edilen biyobriketler elde etmek için düşük dereceli kömürle harmanlanmıştır. Biyobriketler, pişirme testlerinde yakacak odun veya hayvan gübresine göre üstün ve LPG ile karşılaştırılabilir bulunmuştur (Singh vd.,1997; Singh vd.,2001). Bu ürünler, kömür veya linyitten daha iyi yakıt ve yanma özelliklerine sahiptir.

Birçok endüstriyel ve konut uygulaması için uygun hammadde, yanma ve gazlaştırmayı da içermektedir.(Song vd.,2012; Erlich ve Fransson; Chau vd.; Verma vd.2011; Yan ve Lin,2009) .

Peletlemeden sonra peletler soğutulur peletlerin sertleşmesine ve şeklini korumasına neden olur. (Nielsen vd.,2009:23:311-6). Odun peletlerinin kendiliğinden ısınması ve kendiliğinden yanması, büyük miktarlarda peletin silolarda veya kaplarda uzun süre depolanması yaygın olarak karşılaşılan bir durumdur. (Larsson vd.,2012:92:322-7). Odun artıklarının kurutulmasının ardından öğütülerek talaş haline getirilmesinin ardından yüksek basınçta presleme işleminden sonra 6-10 mm çaplarında yakıt topları meydana gelir. (Magellia vd.,2009)

Yaklaşık 70-90 °C sıcaklıkta preslenen peletler soğutulma işlemleri sonucunda sıcaklıkları 25 °C'ye düşürülür ve paketleme işlemine hazır hale getirilir (Magellia vd.,2009:434-441).

Şekil 2.5’de tarımsal atıkların pelet ve briket oluşumu yer almaktadır. Yüksek basınçlı briketleme teknolojileri, düşük basınçlı teknolojiye kıyasla maliyetlidir. Alçak basınç teknikleri çok ekonomiktir, teknik olarak ise basit ve sağlamdır (Bhattacharya & Shrestha,1990). Şekil 2.5’de tarımsal atıkların pelet ve briket oluşumu yer almaktadır.



Şekil 2.5. Pelet ve Briket Oluşumu

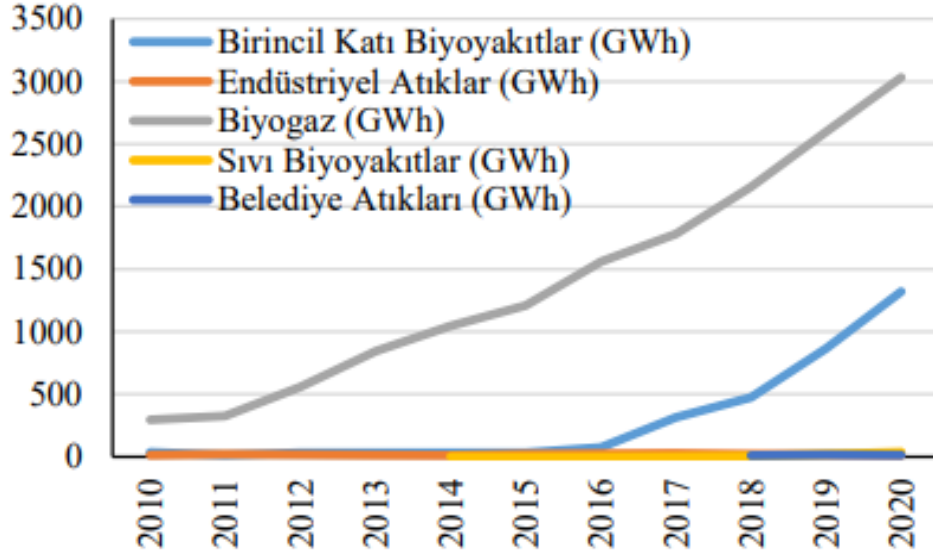
2.8.1.1. Biyopelet ve Biyobriketlerin Türkiye’deki Durumu

Biyoyakıtlar, tarımsal ürünlerin, odunun, hayvan, bitki ve belediye artıklarının çeşitli biyokimyasal ve/veya termokimyasal dönüşüm süreçlerinden geçirilmesiyle elde edilen gaz, sıvı ve katı ürünler olmak üzere gruplara ayrılmaktadır (Karadağ,2018).

Sıvı biyoyakıtlar; biyoetanol, biyodizel, biyometenol, biyodimetiler, biyoetilsiyerbutiler ve bitkisel yağlardan oluşmaktadır. Katı biyoyakıtlar; odun kömürü, biyokömür, biyopelet ve biyobriketlerden meydana gelmektedir. Gaz biyoyakıtlar ise, biyohidrojen, biyogaz, singaz denilen sentetik gazlardan oluşmaktadır (Ar,2007).

Biyopelet kaynakları doğada, karada ve denizde yetişebilen, fosil kaynaklardan farklı özellikler içeren canlı veya canlılığını yeni yitirmiş organizmaların oluşturdukları toplam kütle olarak tanımlanabilir. Biyopelet kaynaklarında genellikle su ve oksijen miktarları yüksek olmasına rağmen düşük yoğunlukta olan, homojen olmayan ve kalorifik açıdan düşük değerlere sahip olan kaynaklar arasında bulunmaktadır (Kazaz,2018).

Her yıl elektrik üretimdeki en yüksek payı sırasıyla biyogaz ve birincil katı yakıtlar almaktadır. Birincil katı biyoyakıtlarda ise 2015 yılından itibaren önemli oranda düzenli artış görülmektedir (IEA,2021).



Şekil 2.6. Biyokütle kaynaklarından elektrik üretimi

Kaynak: IEA, 2021

2.8.1.2. Biyopelet ve Biyobriketlerin Dünya'daki Durumu

Dünya genelinde, biyokütleden 2017 yılında bir önceki yıla göre, 25.000 GWh (2.15 milyon TEP, % 4) artış ile toplamda 595.616 GWh (51 milyon TEP) elektrik enerjisi üretilmiştir. 2000-2017 yılları arasında biyokütleden elektrik enerjisi üretimi 3,6 kat artmıştır. Biyokütleden elektrik enerjisi üretiminin % 65'i ise sadece büyük ölçekli elektrik ve kojenerasyon (kombine ısı/enerji) santrallerinde odun yongaları, odun peletleri gibi birincil katı biyoyakıtlardan elde edilmiştir. Sıvı biyoyakıtlar, biyokütle güç üretiminin küçük bir bölümünü oluşturmakta olup elektrik enerjisi üretimi yerine ulaşım sektörünün ihtiyaçlarını karşılamak için en iyi alternatif kaynak olma özelliğini taşımaktadırlar (WEO,2019). Dünya ve Türkiye biyoyakıt ve atıklardan elektrik üretimi Tablo 2.5.'de gösterilmektedir.

Tablo 2.5. Dünya ve Türkiye Biyoyakıt ve Atıklardan Elektrik Üretimi

Yıl	Dünya						Türkiye				
	Toplam (Gwh)	Endüstr. Atıklar	Birincil Katı Biyoyakıt (Gwh)	Biyogaz (Gwh)	Belediye Atıkları (Gwh)	Sıvı Biyoyakıtlar (Gwh)	Toplam (Gwh)	Endüstr Atıklar (Gwh)	Birincil Katı Biyoyakıt Yakıt (Gwh)	Biyogaz (Gwh)	Sıvı Biyoyakıtlar (Gwh)
1990	129.457	7.665	101.828	3.651	16.313		38		38		
1995	128.162	10.936	89.081	6.166	21.979		222		222		
2000	163.966	15.259	101.285	13.122	34.300		174	8	145	21	
2005	228.737	11.662	147.910	20.985	46.200	1.980	44	10	5	29	
2010	369.585	26.626	229.022	46.469	62.400	5.068	346	14	36	296	
2015	519.173	28.570	327.370	82.807	72.800	7.626	1263	22	32	1.208	1
2017	595.616	39.987	388.521	86.328	74.100	6.680	2658	23	474	2.158	3

Kaynak: IEA, 2020

Dünya toplam biyokütle arzı 2014 yılında 59.2 EJ'dur. Belediye atıkları 1.32 EJ iken sanayi atıkları 0.80 EJ'dur. Tablo 2.6'da gösterildiği gibi katı biyokütle 52.6 EJ iken sıvı biyokütle 3.21 EJ'dur.

Tablo 2.6. Dünya Toplam Biyokütle Arzı (EJ)

Yıllar	Toplam	Belediye Atıkları	Sanayi Atıkları	Katı Biyokütle	Sıvı Biyokütle	Biyogaz
2000	43.0	0.74	0.47	41.1	0.42	0.28
2005	47.4	0.94	0.40	44.7	0.85	0.50
2010	54.2	1.15	0.68	49.1	2.44	0.84
2014	59.2	1.32	0.80	52.6	3.21	1.27

Kaynak: WBA, 2017

Dünya çapında en geniş biyopelet pazarı mevcut durumda Avrupa'da yer almaktadır. Küresel olarak 2010 yılında biyopelet kullanımı 15 milyon ton civarında iken,

2015 yılına gelindiğinde ise 228 milyon ton değerine ulaşmıştır. 2030 yılında da 400 milyon ton civarında olacağı öngörülmektedir (Dok,2014).

Avrupa Pelet Konseyi (EPC)'ye göre 2016 yılında küresel olarak odun peleti tüketimi %6'lık artış sonucunda 27,8 milyon ton değerine ulaşmıştır. Bu artış ile birlikte Avrupa, Dünya'daki pelet tüketiminin %80'ini (21,7 milyon ton) elinde tutmakta olup, ana pelet tüketicisi konumunda yer almaktadır.

Avrupa'da odun peleti üretimi 2010 yılından itibaren artış göstermiştir. 2014 yılında ise %35'lik bir artışa ulaşmıştır. 2014 yılında Avrupa'da odun peleti üretimi, küresel üretimin %50'sini elinde tutarak 13,5 milyon ton olarak belirlenmiştir. Bu üretimin ise 2,1 milyon ton kadarı ile en büyük kapasiteye sahip Almanya'da gerçekleştirilmiştir.

Almanya'nın ardından 1,6 milyon ton ile İsveç ve 1,3 milyon tonluk üretim ile Letonya izlemiştir. 2016 yılında ise Avrupa 16,6 milyon tonluk üretim hacmi ile kullanılan peletlerin %74'lük kısmını tedarik etmiştir. Bu oran ise yaklaşık olarak küresel üretimin %57'lik bir kısmına tekabül etmektedir. Avrupa'da pelet tüketiminin yaklaşık %61,8'lik büyük bir kısmı konutlarda ve ticari ısıtma amaçlı olarak ısı enerjisine dönüştürülerek kullanılmaktadır. Bununla birlikte %38,2'lik kısmını ise güç üretiminde kullanılmaktadır (Çatak,2019; Garcia,2019; Calderon,2019).Avrupa Birliği'nin önde gelen pelet üretici ülkeleri konumunda yer alan İsveç (1.7 milyon ton), Almanya (900 bin ton) ve Avusturya (800 bin ton) ile ilk sıralarda yer almaktadır.

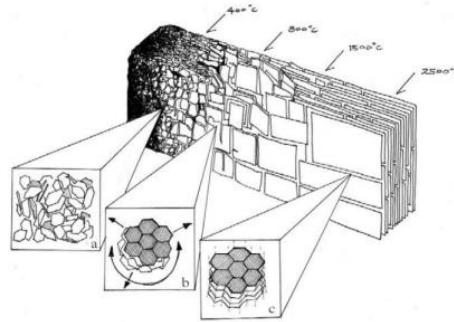
İsveç ve Avusturya Avrupa'da pelet pazarının ilk oluşmaya başladığı 1990'lardan beri önde gelen pelet ülkeleri arasında yer almışlardır (Yeni Enerji,2009).

Fransa, İspanya, Letonya, Estonya ve Polonya gibi ülkelerde de üretim kapasitesi her geçen artış görülmektedir. Rusya ise üretim kapasitesini 2005 yılında 50 bin tondan 2007 yılında 550 bin tona, yani neredeyse tüm ihraç edilen miktarlarda ciddi ölçüde artırmıştır (URL-15, 2011)

2.8.2. Biyokömür

Biyokömür, biyokütlenin yüksek sıcaklıklarda ve oksijensiz ortamda ısıtılması (pirolizi) sonucunda elde edilmektedir. Biyokömür, bozulmaya karşı dirençli olan yapısı, 35 yüksek spesifik yüzey alanı ve negatif yüzey yükü olmak üzere sahip olduğu bazı özelliklerinden dolayı toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirebilecek ve bitkisel üretimin verimliliğini arttırabilecek bir katkı maddesi olarak düşünülmektedir (Madari ve ark.,2017; Zhang ve ark.,2017).

Modern biyokömür endüstrisi kısmi olarak yeni olmasına rağmen biyokömürün doğada oluşumu yüzyıllar boyunca kendiliğinden oluşmaktadır. Bitkisel atıklar toprak altında kaldığında kendiliğinden oluşan ot yangınları ile çok uzun sürelerde karbonize olmasının sonucunda biyokömür oluşur. Amazon bölgesinde bulunan “Terra preta” (çernezyum) olarak bilinen verimli siyah toprakların biyokömür bakımından zengin olması ve bu karbon içeriğinin toprakta binlerce yıl kaldığı bulunmuştur (Lehmann and Joseph,2009).



Şekil 2.7. Biyokömür yapısının sıcaklıkla değişimi

Kaynak: Lehmann and Joseph 2009

En bilinen biyokömür üretimi olarak odun kömürü üretimi öne çıkmaktadır. Özellikle meşe ağaçlarından mangal kömürü üretimi oldukça yaygın olup, Türkiye’de daha çok klasik yöntemler sonucunda üretilmektedir. Bunun için düzgün şekilde istiflenen odunlarla torluklar kurulur ve odunlar üzeri toprakla kaplanarak kısmi yakma ile karbonlaştırma gerçekleştirilir. Endüstriyel üretim için ise birçok farklı tiplerde reaktörler geliştirilmiştir (Meyer ve vd.,2011; Tripathi ve diğ.,2016; Yang ve diğ.,2014; Agirre vd.,2013).

Biyokömür yüksek oksijen içeriğine sahip olmasından dolayı, yüksek yüzey asit-baz fonksiyonel faaliyetleri yürütür. Bunun yanı sıra topraktan fosfor ve azot gibi elementlerin bitkiler tarafından daha kolay alınabilmesini sağlayarak toprak için iyi birer besin maddesi olarak öne çıkmaktadır (Glaser ve vd.,2014).



BÖLÜM III

BİYOPELET

3.1. Biyopelet Kavramı ve Önemi

Pelet, biyokütle kaynakları işlenilmesi sonucunda kalorifik değeri yüksek, kullanımları daha kolay ve modernleştirilmiş formlara sahiptir (Samuelsson,2009:1129; Thyrel,2009: Sjöström,2009:1129; Lestander,2009:1134). Biyoyakıtların hammadde açısından mevcut kaynaklardan kolay bir şekilde temin edilmesi ve doğal yöntemlerle elde edilmeyen fosil yakıtlar ile karşılaştırıldığında temiz ve ucuz olmasının yanı sıra yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almaktadır (Kapluhan,2014). Odun talaşları/odun yongası, ağaç kabukları, tahıl sapı, fındık kabukları, badem kabukları, ceviz kabukları, artık kağıtlar ve tarımsal ürünlerden pelet üretimi gerçekleştirilebilir. Bunun yanı sıra pelet üretiminde mısır koçanı, kiraz çekirdeği, kurumuş zeytin, pancar küspesi, Ayçiçek çeneği, soya fasulyesi gibi biyolojik ürünlerin kullanımları mevcuttur (Gürsel,2015:137; Güngör,2015:137; Öztürk,2015:145, Akdemir,2015:145).

Mısır koçanı, kurumuş zeytin, pancar küspesi, kiraz çekirdeği, ayçiçeği çeneği ve soya fasulyesi olarak atık biyokütlelerin pelet üretiminde kullanımı mümkündür (Küsek ve Güngör,2015: 137-145; Öztürk ve Akdemir,2015: 137-145). Şekil 3.1’de biyopeletler ile ilgili olarak numune örnekleri yer almaktadır.



Şekil 3.1. Biyopeletler

Pelet; hayvan yemine benzeyen, silindir bir çubuk şeklinde bir forma sahiptir. Peletlenmiş biyokütlenin taşınması daha kolay olmasının yanı sıra, yakıt olarak kullanımı daha verimlidir. Peletleme işleme sonucunda biyokütlenin depolama maliyeti azaltılır. Peletin özellikleri belirlenirken (Viak,2000: 3-74).

Peletleme işleminde en önemli unsurlardan birisi materyale ait özellikler olup, bunlar; pelet materyalinin nem içeriği, parçacık boyutu ve yoğunluk yer almaktadır. Nem içeriği peletin kalitesine de etki etmektedir. Yüksek kaliteli peletin bazı proses parametrelerine yani basınç, sıcaklık, nem içeriği ve partikül boyutu pelet kalitesine bağlıdır. (Kaliyan ve Morey,2010; Carone vd.,2011). Katı yakıtlar ile kül oranları kıyaslama yapıldığında, kömürde % 20 iken pelette ise bu oran % 0,5'tir. Buna bağlı olarak, ev tipindeki bir sobada 25 kg pelet yakıldığında 65 gr külün ortaya çıkmasına karşılık gelmektedir. Düşük kül oranı sayesinde yakma sisteminin verimini arttırarak, işletme maliyetlerini azaltacaktır (Abt vd.,2014).

Biyopelet üretimi ile birlikte çevreye zarar verilmesinin önüne geçilmesi ve sera gazları emisyonlarının azalmasına katkı sunmasının yanı sıra, doğal kaynakların korunmasını ve de fosil yakıtların tüketiminin azaltılması sağlanır. Sürdürülebilir ve çevresel faydaları ile birlikte ithal yakıt tüketiminde ortaya çıkacak azalmanın sonucunda ekonomik katkının yanı sıra bölgesel gelişme ile yatırım artışı sağlanacaktır

. Şekil 3.2'de mısır sapı, odun yongası, buğday kepeği, talaş, çeltik, mısır koçanı, yapraklar, çimen ve çalılık gibi pelet örnekleri yer almaktadır.



Şekil 3.2. Pelet yakıtı örnekleri

Kaynak: Anonim

Yerel halkı kalkındırması ve kaynakların yerinde değerlendirilmesi farkındalığının yaratılması sonucunda, tarımsal kökenli artıkların tarlada bırakılmasının engellenmesinin yanı sıra atık geri dönüşümü de sağlanabilecektir.

Biyokütle pelet üretiminin rasyonel hâle getirilmesi doğrultusunda bazı bölgelerimizde ise değişik kapasitelere sahip tesislerin kurulmasına da imkan sağlanabilir. Biyokütle peletinin kırsal alanlarda tanıtımını yapmak ve de kabul ettirilmesi sonucunda ormanlık alanlarda kaçak orman kesimlerinin de önüne geçilmesi sağlanabilir. Tarımsal artıkların preslenmesi ve yüksek yoğunluğa çevrilmesi sonucunda da taşıma ve depolama maliyetleri azaltılabilir (Küsek ve Güngör,2015; Öztürk ve Akdemir,2015).Pelet olarak kullanımları, enerjiyi düşük bir hacimde yoğunlaştırmasından dolayı, kalorisi düşük olmasına rağmen diğer enerji türlerine karşı avantajlı duruma getirmektedir (Ishii vd.,2016).

Bitkisel artıkların katı yakıt olarak kullanımında ortaya çıkan sorunlar arasında artıkların yoğunluğunun az olması ve yüksek neme sahip olması yer almaktadır. Düşük yoğunluk ve yüksek nem içeriğine sahip olmasından dolayı, taşıma ve depolama gibi sorunları da ortaya çıkarmaktadır. Bundan dolayı, enerji üretimi amacıyla etkin ve kolay bir şekilde bitkisel artıkların kullanımları için uygulanacak metotlardan birisi ilk olarak artıkları kurutup, ardından öğütme işlemlerinden geçirilmesinden sonra preslenmesi sonucunda pelet formuna getirilmesidir. Pelet hale getirilen biyokütle materyalinin fizikokimyasal özelliklerinde değişiklikler meydana gelmesi ile birlikte hacimsel ısı değeri artar, yanma özelliklerinde iyileşme ortaya çıkar ve atmosfere salınan parçacık emisyonlarında da azalma meydana gelir (Küsek vd.,2015).

3.2. Biyopelet Üretimi

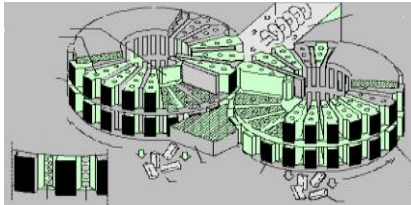
Biyokütle materyalinin yoğun ve düzgün bir forma getirilmesi işlemine peletleme denir. Peletleme işlemi kurutma, öğütme ve yoğunlaştırma gibi temel üç fiziksel işlemden oluşmaktadır. Peletlenecek biyokütle ürününün nem içeriği yaklaşık %8-12 arasında olması istenir. Bunun için fazla nemin giderilmesi amacıyla kurutulur. Kurutma prosesi, enerji gerektiren bir aşama olduğu için pelet üretim maliyetini artırır. Biyokütle örneklerinin kurutulmasında, flash kurutucu, rotary-drum kurutucu, yüksek sıcaklıklı buhar kurutucu ve belt kurutucu gibi bazı çeşitli kurutucular kullanılmaktadır. Şekil 3.3’de görüldüğü gibi, düz kalıp preslemede; sıralı delikli disk üzerinde bir, iki ya da daha fazla sıkıştırma silindiri (daha çok 2 silindir) yaklaşık olarak 2-3 m/s hızla dönmektedir (Acaroğlu,2014).



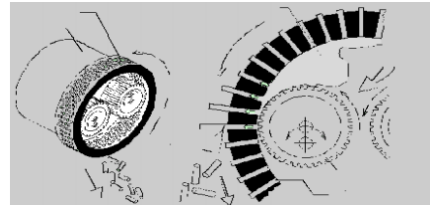
Şekil 3.3. Peletleme makinaları örnekleri

Kaynak: Küsek, 2015

Biyokütle peletleme makinalarında, silindir presler kullanılır. Silindir preslerde yaklaşık 30 mm ölçülerde küçük kalıp kullanılır. Bundan dolayı, bu tipteki presler ‘pelet presi’ olarak da tanımlanmaktadır. Birçok farklı özelliklere sahip kalın çelik disk ya da halka şeklinde deliklere sahip birçok kalıp bulunmaktadır. Peletleme işlemi ağırlıklı olarak iki tipte pelet presi olarak kullanılmaktadır. Materyal, disklerin aracılığıyla kalıp deliklerinde sıkıştırılması ile birlikte kalıbın şeklini alması sonucunda pelet hâle gelmiş olarak çıkmaktadır. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’te görüldüğü gibi, çember kalıplı preslerde ise dönen delikli çemberin iç çevresine bastıran sıkıştırma silindirleri belirli hızlarda sürekli olarak dönerek pelet hale getirilmektedir. Materyalin kalıp deliklerinde sıkışması sonucunda da kalıptan pelet olarak ortaya çıkmaktadır (Küsek vd.,2015; Öztürk vd.,2015).



Şekil 3.4. Silindirik presleme



Şekil 3.5. Düz presleme

Peletler, presleme işlemleri sonrasında sıcaklıkları 150 °C kadar olması ve rutubet dolayısıyla yumuşak bir durumda olmaktadır. Preslemeden sonra peletler, soğutucu depolara alınmasının ardından basınçlı hava ile soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sonucunda peletin % 8 rutubete kadar kurutma sağlanarak ortam sıcaklığına getirilmektedir. Peletler soğumuş ve sertleşmiş özelliklere gelmesinin ardından soğutucudan alınarak konveyör sistemi aracılığıyla depo alanına alınmaktadır. Peletler, elekten geçirilmesi ile birlikte içinde bulunan tozsuz parçaların ayrılmasının ardından depolama alanına gider. (Küsek ve Güngör,2015; Öztürk ve Akdemir,2015).

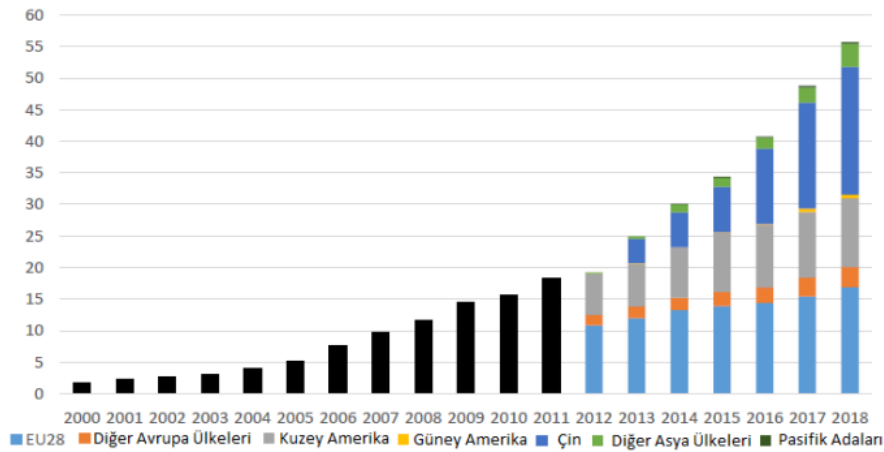
3.3. Dünya’da Biyopeletin Durumu

Biyopelet, dünya çapında yaygın olarak kullanılan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Tutarlı enerji içeriği, şekli, boyutu, yoğunluğu ve nem içeriği olan katı bir yakıttır. Biyopeletler, ağaç kabuğu ve talaş da dahil olmak üzere çeşitli biyokütlelerden yapılır. Biyokütleyi sıkıştırmak, kurutmak, toz haline getirmek ve daha sonra silindirik peletler halinde şekillendirmek, biyopelet üretiminin en yaygın yollarından bazılarıdır. Ormanlar ve enerji ormanlarından elde edilen odun ve ağaç artıkları, odun peleti ve briketlerine dönüştürülmesi sonucunda evler ve binalar ısıtılırken, biyokütle santrallerinde yakılarak çevredeki mekanların merkezi sistem ile ısıtılması sağlanmakta ve termik santrallerde kömür ile birlikte (co-firing) yakılarak ısı ve elektrik enerjisi üretilmektedir. 2009 yılında dünya genelinde 430 pelet üretim tesisinde 15 milyon ton odun peleti üretilmiştir. Biyopeletler yenilenebilir enerji olarak kömürle birlikte yakılarak CO₂ emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunabilir. Bugüne kadar dünya genelinde en büyük pelet pazarı Avrupa olmuş olup, gereksinimin yarısı ise evlerin ısıtılması içindir. Buna rağmen, Dünya genelinde gereksinimin artışında esas alan elektrik üretim sektörü üzerindedir. Dünya toplam pelet gereksiniminin 2010 yılında yaklaşık 15 milyon ton iken, 2015 yılında 228 milyon ton ve 2030 yılında 350-400 milyon ton olarak gerçekleşebilecektir (Mizuta,2010).

2014’de Avrupa’da odun peleti üretimi, küresel üretimin %50’sini elinde tutarak 13,5 milyon ton olarak kayıtlara geçmiştir. Bu üretimin 2,1 milyon ton kadarı en büyük kapasiteye sahip Almanya’da gerçekleştirilmiştir. Almanya’yı, 1,6 milyon ton ile İsveç ve 1,3 milyon tonluk üretim ile Letonya izlemiştir. 2016 yılında ise Avrupa 16,6 milyon tonluk üretim hacmi ile kullanılan peletlerin %74’lük kısmını tedarik etmiştir.

Bu oranda yaklaşık olarak küresel üretimin %57'lik bir kısmına karşılık gelmektedir.

Avrupa'da pelet tüketiminin yaklaşık %61,8'lik büyük bir kısmı konut ve ticari ısıtma amaçlı ısı enerjisine dönüştürülerek kullanılırken, %38,2'lik kısmı ise güç üretiminde kullanılmaktadır. Küresel bazda pelet üretim gelişimi Şekil 3.6'da verilmiştir. (Çatak,2019; Garcia vd.,2019; Calderon vd.,2019)



Şekil 3.6. Küresel pelet üretim gelişimi

Kaynak: Calderon, 2019

3.4. Türkiye’de Biyopeletinin Durumu

Türkiye enerji bakımından %73 olan dış ülkelere bağımlılığın azaltılmasını, yerli enerji kaynaklarına verilen öneminin yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmayı amaçlamıştır. Belirtilen amaçlar doğrultusunda 2023 yılı için elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payı yaklaşık %30 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye’de en fazla tahıl ve yağlı tohumların üretimi yapılmakta, bu üretimlerden de en çok buğday, arpa, pamuk gibi ürünlerin tarımsal atıkları oluşmaktadır. Türkiye’de tarımsal kaynaklı atıkların enerji potansiyeli yaklaşık 50-65 MTEP/yıl seviyesinde iken, enerji dönüşümünde yararlanılabilecek tarımsal kaynaklı atıklar 13 milyon ton, bunların kalorifik değerleri ise 228 PJ’dur (Öztürk ve Başçetinçelik,2006).

Ülkemizde biyokütleden üretilebilecek enerji potansiyeli bu kadar yüksek olmasına rağmen yeterli ödenekler ve teknik imkanlar bulunmadığı için yeteri kadar yararlanılamamaktadır (Işık,2019; Küsek vd,2015).

Tarımsal kaynaklı ürünlerin üretim miktarları ve enerji kapasitelerine göre en yüksek üretim buğday olup, enerji potansiyeli 1.43 MTEP'dir. (Işık,2019). Tarımsal kaynaklı ürünlerin üretim miktarları ve enerji kapasiteleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Tarımsal kaynaklı ürünlerin üretim miktarları ve enerji kapasiteleri

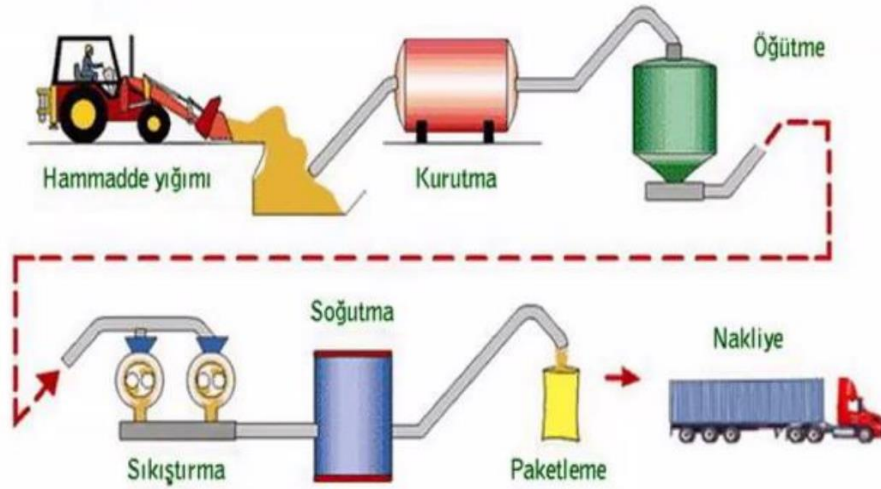
Tarla Bitkileri	Atıklar	Üretim (Milyon Ton)	Mevcut Atıklar (Milyon Ton)	Enerji Potansiyeli (MTEP)
Buğday	Saman	22.4	3.5	1.43
Mısır	Bitki Sapı & mısır koçanı	2.9	4.1	1.70
Arpa	Saman	7.9	1.2	0.50
Çavdar	Saman	0.3	0.05	0.02
Yulaf	Saman	0.3	0.05	0.02
Pirinç	Saman & Kabuk	0.3	0.2	0.07
Tütün	Bitki sapı	0.2	0.2	0.09
Pamuk	Bitki sapı & çırçır	2.4	2.1	0.85
Ayçiçeği	Bitki sapı	0.8	1.3	0.44
Yer fıstığı	Saman & kabuk	0.007	0.002	0.01
Soya	Saman	0.005	0.001	0.005
*MTEP: Milyon Ton Eşdeğer Petrol				

Kaynak: Işık, 2019

3.5. Pelet Üretiminde Biyokütlenin Önemi ve Kullanım Alanı

Bitkisel, odunsal ve de endüstriyel lignoselülozik biyokütle atıklarının enerji kaynağı olarak kullanımlarında karşılaşılan önemli bir problem bu maddelerin ağırlıklarına göre hacimlerinin fazla olmasından dolayı enerji dönüşüm proseslerinde kullanılabilirliğinin zorluğu ve ayrıca depolanabilirlikleri ve ulaşımdaki olumsuzluklarının ekstra maliyete sebep vermesidir.

Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için orman ve tarım atıkları, endüstriyel atıklar ve enerji bitkileri gibi lignoselülozik biyokütlenin kurutulup, yüksek basınç altında peletlenerek evsel ısıtma ve enerji dönüşüm sistemlerinde yakıt amaçlı biyopelet olarak kullanılması dünya genelinde gittikçe yaygınlaşmıştır. Peletler basınç altında presleme ve nem giderme yani kurutma işlemlerinden geçirilerek düşük nem oranında optimize edilirler. Şekil 3.7’de pelet üretimi teknolojisi aşamaları göstermektedir (Anonim,2009c).



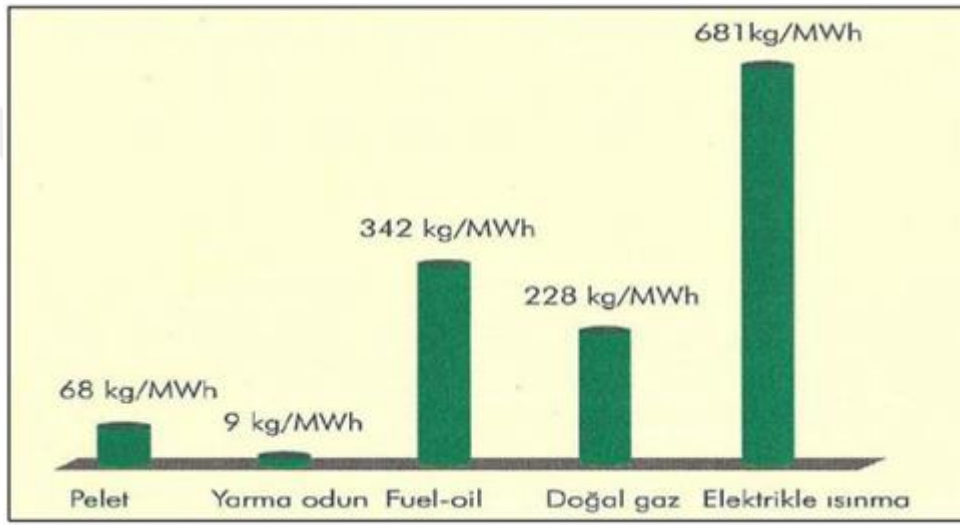
Şekil 3.7. Pelet Üretimi Teknolojisi Aşamaları

Kaynak: Anonim, 2009c

Yüksek enerji yoğunluklarına sahip ve yanma özellikleri iyileştirilmiş pelet üretimi gerçekleştirilebilir. Nem içeriğinin minimize edilmesi, biyopeletlerde mikrobiyal olayların yavaşlamasına, böylece depolanma sürelerinin uzamasına ve taşınabilirliğinin olumlu etkilenmesine neden olmaktadır (Sungur,2019). Biyokütleden üretilen peletler mevcut sıvı veya katı fosil yakıtlara göre birçok yönden daha avantajlıdır. Peletler yandığı zaman sera gazı etkisi yaratmamaktadır.

1 ton benzinin yanması sonucu 3,11 ton CO₂ atmosfere salınırken, 1 ton kuru biyokütlenin yanması sonucu atmosfere salınan CO₂ miktarı 0,467 ton'dur (Tüplek,2011).

Diğer enerji üretiminde kullanılan kaynakların yol açtığı CO₂ emisyon değerleri karşılaştırıldığında; 1 MWh enerji üretimi sırasında pelet, fuel-oil ve doğal gazın atmosfere verdiği CO₂ miktarları sırası ile 68 kg, 342 kg ve 228 kg olarak bilinmektedir. Değişik enerji kaynaklarının yaydığı CO₂ emisyon miktarları Şekil 3.8'de gösterilmiştir (Çelik,2011).



Şekil 3.8. Değişik enerji kaynaklarının CO₂ emisyonları

Kaynak: Çelik, 2011

Peletlerin yanmasıyla salınan bu CO₂ emisyonu, bitkinin önceki yıllarda fotosentez için harcadığı CO₂'le eşdeğerdedir. Bu özellikler göz önünde bulundurularak biyokütle peletlerinin fosil yakıtların yerine tercih edilmesi veya beraber kullanımının ülkemizdeki karbondioksit emisyonlarının azaltılmasında önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Dünya çapında en geniş biyopelet pazarı hali hazırda Avrupa'da yer almaktadır. Küresel olarak 2010 yılında biyopelet kullanımı 15 milyon ton civarındayken, bu değer 2015'e gelindiğinde 228 milyon ton değerine ulaşmış, 2030'da ise 400 milyon ton civarında olacağı öngörülmüştür (Dok,2014).

3.6. Pelet Üretim Aşamaları

Mevcut fosil bazlı yakıtların kullanılması ile ortaya çıkan çevre kirliliği, sera gazı emisyonu ve mevcut enerji kaynaklarına bağımlılıktan kaynaklanan enerji krizi gibi olumsuzlukları hafifletmek için alternatif yenilenebilir enerji kaynakları olarak biyokütle kullanılabilir. Biyokütle birçok çevresel avantajının yanı sıra düşük enerji yoğunluğu, yüksek nem içeriği, mevsimsel ve coğrafi konumlara bağımlılığı, bunlara ek olarak heterojen yapıya sahip olmasından dolayı enerji dönüşüm sistemlerindeki besleme zorlukları gibi dezavantajları nedeniyle enerji kaynağı olarak kullanımında sınırlamalar mevcuttur. Bu olumsuzlukları gidermek ve yakıt kalitesini artırmak amacı ile biyokütle torrefaksiyon gibi termal ön iyileştirme prosesleri uygulanmaktadır (Özgündüz,2020).

Torrefiye biyokütle yakıtının özellikleri, ham biyokütleyle göre çok daha avantajlı olsada kütle ve enerji yoğunlukları geleneksel kömür yakıtından daha düşük olabilmektedir. Ayrıca torrefiye biyoyakıt genellikle toz halinde üretildiği için depolama ve taşınma sırasında patlama tehlikesi içermektedir. Bu problemler, ham biyokütle veya torrafiye biyokütlenin yüksek basınç altında mekanik ekstrüzyon yoluyla biriket veya pelet şeklinde yoğunlaştırılması ile giderilebilir (Shao vd.,2019).

Tablo 3.2. Biyokütleden üretilen pelet ve biriketlerin özellikleri

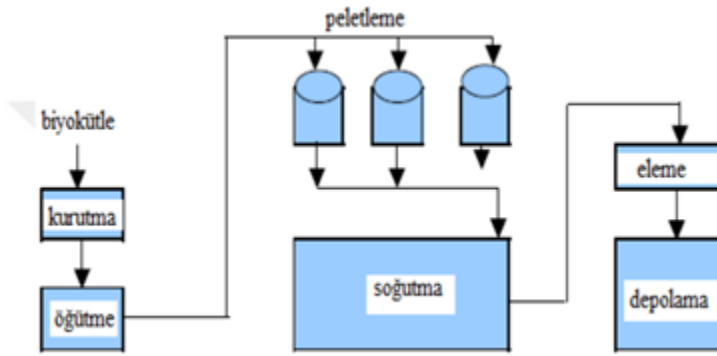
Özellikler	Peletler	Biriketler
Isı Değeri	16,92 – 147,64 MJ/kg	16,92 – 17,64 MJ/kg
Yoğunluk	650 – 700 kg/m ³	650 – 700 kg/m ³
Çap	6 – 16 mm	65 mm
Uzunluk	20 – 30 mm	25 – 200 mm
Kül İçeriği	% 0,4 – 1,0	% 0,5
Rutubet	% 7 – 12	% 7 – 12

Kaynak: Saraçoğlu ve Gündüz, 2009

Biyopelet, organik biyokütlenin kurutulup nem giderilmesi daha sonra ise öğütülerek küçük ve homojen partikül boyutlarına getirilmesi ve yüksek basınç ile preslenerek 6-16 mm arası çap ve 20-30 mm arası uzunlukta silindirik formda üretilmesi ile elde edilir. Biyokütleden üretilen pelet ve biriketlerin genel özellikleri Tablo 3.2'de yer almaktadır (Karayılmazlar vd.,2011).

Pelet üretim prosesleri; Ham biyokütlenin depolanması sonrası ön hazırlığı, peletlenmesi ve peletleme sonrası işlemler şeklinde birkaç aşamadan oluşmaktadır. Peletleme öncesi hazırlıklar ise kullanılacak ham biyokütlenin karakteristik özelliklerine bağlı olarak genellikle öğüterek boyut küçültme, kurutma ve iyileştirme aşamalarını içermektedir. Peletleme prosesi sonrasında da üretilen biyopeletler soğutuculara aktarılmakta ve küçük parçacıkların ayrılması içinde elenmektedir.

Güncel peletleme teknolojilerinde kullanılan ham biyokütlenin %35 nem oranına kadar kurutulmasına ve proses sonrası soğutulmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Biyokütlenin yoğunlaştırılması amacı ile uygulanan peletleme proses basamakları Şekil 3.9'da gösterilmiştir (Çatak,2019).



Şekil 3.9. Biyokütle peletleme proses basamakları

Kaynak: Çatak, 2019

3.6.1. Biyokütlenin Kurutulması

Pelet, odun artıklarının kurutulup, öğütülerek talaş haline getirildikten sonra yüksek basınçla sıkıştırılmasıyla çapı 6-10 mm boyutlarında oluşturulan maddedir. Briket ise 5-20 cm arasında değişen boyutlarda üretilir (Üçgül vd.,2010). Özellikle tarım ve orman artıklarının homojen olmamaları ve çok fazla hacim kaplamaları nedeniyle direkt yakıt olarak kullanılmaları oldukça zordur. Bu problem, bu tür biyokütlenin kompakt ve düzenli bir şekilde yoğunluğunun artırılmasıyla yani pellet veya biriket haline getirilmesiyle çözülebilir (Lehtikangas,2000).

3.6.2. Yüksek Basınç Altında Presleme

Odun, saman, kağıt ve bir çok bitkisel lifler gibi bütün ligno-selülozik materyaller önemli bir enerji kaynağıdır. Materyallerin ana sorunu hacim/ağırlık oranının büyük olması; işleme, depolama ve taşımanın zor ve pahalı olmasına neden olmaktadır. Bu problem bu materyallerin kurutulması ve daha sonra onun çok yüksek basınç altında sıkıştırılarak yakacak peletleri ve briketlerinin üretimi ile çözülebilir. Bu ürünler daha yüksek yoğunluk (2 katından daha fazla) ve yüksek bir ısı değerine sahip olacaktır. Tarımsal atıklar ancak pelet biçimine dönüştürülürse taşıma, depolama ve kullanımı kolay olabilecektir. Peletler ağırlık olarak petrol enerjisinin yarısına ve üçte bir hacmine eşdeğerdir. Bu durum uzak mesafelere taşımada fiyat farkını dengeler. Odun peletleri kalitesi yükseltilmiş odun yakıtları olarak, ağaçlardan keresteye ve diğer odun ürünlerine kadar birçok işlemde ortaya çıkan; testere talaşı, planya talaşı, yonga, kabuk gibi materyalin kurutulması ve preslenmesi ile üretilmektedir (Karayılmazlar vd.,2011).

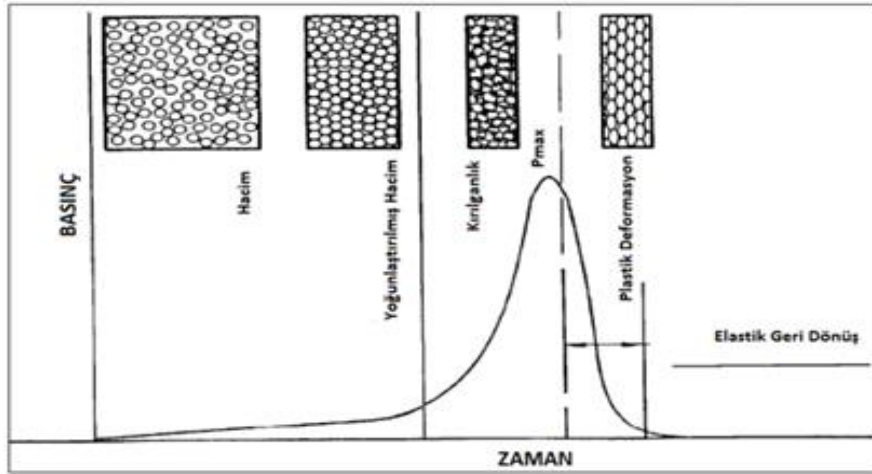
3.6.3. Peletlerin Soğutulması

Peletleme prosesinde silindir kalıplarda biyokütlenin sıkıştırılması sırasında sıcaklık artışı meydana gelebilmekte ve basıçtan dolayıda peletler parçalanabilmektedir. Bu olumsuzlukları gidermek, pelet sertliğini ve stabilizasyonunu artırmak amacı ile peletleme sonrası soğutma işlemi uygulanmaktadır. Peletleme prosesi ile ham biyokütlenin yanma etkinliği ve enerji verimliliği 300 kat artırılmakta, böylece enerji dönüşüm sistemlerinde kullanılan biyokütle yakıt ağırlığı da 1/3 oranında azaltılmaktadır. Bu durumda ülke ekonomisine ciddi katkı sağlamaktadır (Tüplek,2011; Çatak,2019).

3.7. Peletleme Mekanizması

Peletleme prosesinin ilk basamağında biyokütle içindeki partiküller uygulanan düşük basınç ile birbirlerine yaklaşmakta ve basınç yardımı ile aktarılan enerji parçacıklar arası etkileşim ile parçacık-pres kalıp duvarı arasındaki etkileşime harcanmaktadır. Daha sonra yüksek basınç altında partiküller birbirleri ile daha çok temas zorlanarak elastik ve plastik deformasyona uğramaktadır. Bu şekilde kısa mesafeli bağlanma kuvvetleri olan Van der Waals kuvvetleri ve elektrostatik kuvvetlerin etkinliği artmaktadır.

Stres altında kırılabilirliği artan partiküller bu mekaniksel kuvvetler yardımı ile birbirine kenetlenmektedir. Böylece yüksek basınç altında presleme işlemi biyokütlenin hacmi azalır, yoğunluğu ise biyokütleyi oluşturan bileşenlerin gerçek yoğunluklarına yaklaşıncaya kadar devam etmektedir. Peletleme aşamasında basınç sonucu oluşan ısı biyokütle bileşenlerinin erime noktalarına yaklaşmasına ve yumuşamasına sebep vermektedir. Özellikle biyokütle bileşenlerinden olan lignin molekülü 140°C olan düşük erime noktasından dolayı, presleme işleminde üretilen ısı enerjisinden dolayı yumuşamakta ve termoset özelliği göstermektedir. Peletleme sonrası soğutma aşamasında ise bu yumuşayan bileşenler parçacıklar arasında çok güçlü köprüler oluşmasını sağlamaktadır. Peletleme prosesi sonrası üretilen peletlerdeki partiküller arası boşluklar %70 oranında azaldığı için geriye dönüş gerçekleşmemektedir. Peletleme prosesi sırasında partiküller arasında meydana gelen değişiklikler Şekil 3.10'da gösterilmektedir (Shishvan,2018; Sokhansanj vd.,2005).



Şekil 3.10. Peletleme mekanizması

Kaynak: Sokhansanj vd., 2005

3.8. Pelet Kalitesini Etkileyen Faktörler

Pelet yemlerde kalite üzerine birçok faktör etkilidir. Her bir unsurun etki dereceleri farklıdır. Bu faktörler: Karma yem formülasyonunun % 40, partikül büyüklüğü % 20, şartlandırma % 20, matris özellikleri %15 ve soğutma ve kurutmanın etkisi % 5 düzeyinde olduğu belirtilmektedir (Reimer,1992).

3.8.1. Ham Biyokütlenin Cinsi

Ham biyokütlenin cinsi, kimyasal yapısı üretilecek peletlerin depolanabilirliği ve kullanım alanlarını etkilemektedir. Biyokütlenin kimyasal yapısındaki hemiselüloz, selüloz ve lignin içeriğinde peletlerin dayanıklılığı üzerinde büyük etkisi bulunmaktadır. Özellikle 100°C'de yumuşama özelliğine sahip olan lignin bağlayıcı özelliği ile biyokütlenin peletlenmesine katkıda bulunmaktadır. Özellikle yapılarında yüksek oranda lignin ve reçine molekülleri bulunduran odunsu kaynaklar yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında çalıldığında, yapılarındaki lignin molekülünün yumuşaması ile bağlayıcılık özelliği kazanırlar. Bu yüzden odun kaynaklı biyopeletlerin yoğunluklarının ve dayanıklılıklarının daha iyi olduğu bilinmektedir. Bitkisel biyokütle kaynaklarından üretilen biyopeletlerin dayanıklılıkları ise lignin yüzdeleri daha az olduğu için daha düşüktür. Biyokütle maliyetinde üretim maliyetini doğrudan etkileyeceği için çok önemli bir parametredir (Işık,2019).

3.8.2. Ham Biyokütle Nem İçeriği

Mevcutta kullanılan yakıt kaynakları ile kıyaslama yapıldığında biyokütle kaynaklarının nem oranları daha fazladır. Biyokütle yapısında yer alan nem oranı, peletleme prosesini, nihai ürünün yoğunluğu, dayanıklılık derecesi, kalorifik değeri ve yanma etkinliği gibi kalitesini belirleyen özelliklerini, depolanabilirlik süresi ve taşınma özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Dayanıklılığı yüksek ve yoğunlaştırılmış biyopelet üretimine yönelik olarak biyokütle kaynağının optimum nem oranında olması gerekir. Selülozik biyokütlerde yaklaşık %5-10 civarında iken, tarımsal otlarda ağırlıklı olarak %10-20'dir. Peletleme proseslerinde nem, biyokütle yapısındaki moleküller arası bağları güçlendirerek yapıştırıcı etkisi yaparken, dayanıklılığı da artırmaktadır. Biyokütle yapısında yer alan nem, moleküllerin yüzey alanlarını artırması sonucunda Van der Waals bağlarını etkinleştirmektedir. Optimum nem içeriğinin altındaki nem oranlarında uygulanacak proses basıncının artmasına bunun sonucunda da malzemenin kalıpta sıkışmasından dolayı peletleme işlemlerinde ekstra maliyete yol açmaktadır. Bununla birlikte nem içeriği çok az olan biyokütlenin preslenmesi esnasında ısı iletimini bloke etmesi de üretilen peletlerin dayanıklılık dereceleri üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır.

Optimum değerden daha yüksek nem içeriği de pelet yoğunluklarında azalmaya neden olurken, mekanik özellikler üzerinde ise negatif etkilere sebep olmaktadır (Stelte vd.,2012; Yılmaz,2014).

3.8.3. Proses Sıcaklığı

Peletleme proseslerinde sıcaklık parametresinin, üretilen peletlerin mekanik dayanıklılığı ve presleme sırasındaki enerji ihtiyacı üzerinde büyük bir etkisi vardır. Presleme sırasında sıcak buhar kullanımı biyokütle yapısında yer alan moleküllerin birbirine bağlanma etkisini artırdığı için üretilen peletlerin sağlamlığını artırırken, presleme enerji ihtiyacını ise azaltmaktadır. Bunun yanı sıra yüksek sıcaklıklarda, pelet kalıbı ile ham biyokütle arasındaki sürtünmeyi azaltacağı için peletleme prosesinin sürdürülebilirliğini artırırken, üretim kapasitesini de artmasına neden olmaktadır. Ancak proses sıcaklığında optimum koşulların üzerine çıkıldığı durumlarda ise üretilen peletler yeterli nem içeriğine sahip olamayacağı için moleküller arasındaki bağları zayıflatmakta bunun sonucunda ise yapıda çatlakların oluşmasına ve de dayanıklılığın düşmesine sebep olmaktadır. Yapılan literatür çalışmaları presleme proseslerine yönelik olarak 65-95°C aralığında çalışıldığı zaman yüksek kaliteye sahip peletlerin üretilebileceğini göstermiştir (Yılmaz,2014).

Bunun yanı sıra, yüksek sıcaklıklarda, bitişik parçacıklar arasındaki arayüzey alanında bir artış gözlenmektedir. Bu durumda lifler ve parçacıklar arasındaki Van der Waals kuvvetleri ve hidrojen bağları ile mekanik ara kilitlenmeye neden olurken, yapışma mukavemetini de artırmaktadır (Garcia vd.,2019).

3.8.4. Ham Biyokütlenin Partikül Boyutu

Büyük parçacık, biyokütlenin anizotropik ve heterojen özelliklerinden dolayı biyokütle içinde üniform olmayan bir ısı dağılımına sahip olabilir. Buna ek olarak, büyük partikül, yüksek kütle transfer direnci nedeniyle içinden uçucu bileşenlerin difüzyonunda zorluklarla karşılaşabilir. Bu nedenle torrefaksiyon işleminin kalitesi tüm partikül boyutları için aynı olmayabilir (Nhuchhen vd.,2014). Farklı boyuta sahip parçacık dağılımı içeren biyokütlelerde, peletleme prosesi sırasında küçük partiküller aşırı kuru hale gelirken bu kurulukta, yoğunlaştırma basamağında partiküllerin kendi kendine bağlanabilirliğini de zorlaştırmaktadır (Maraver vd.,2015).

Biyokütle partikül boyutunun azalması, parçacıkların yüzey alanlarını artıracacağı için presleme işleminde temas yüzeylerini artmasına neden olurken, yapışmanın ise daha etkili olmasına sebep olmaktadır. Kaliteli pelet üretimi için partikül dağılımında büyük parçacıkların yanı sıra yaklaşık %10-20 aralığında küçük parçacıkların da bulunması, küçük partiküllerin, büyük partiküllerin oluşturduğu boşluklara girerek pelet yoğunluğunu ve sağlamlığını artıracacağı bilinmektedir. Bunun yanı sıra büyük partikül boyuta sahip biyokütleden üretilen peletlerde yeterli bağlanma derecesine ulaşılamamasından dolayı çatlaklar oluşması sonucunda pelet dayanıklılığının ve kalitesinin ise düştüğü görülmektedir. Bundan dolayı kaliteli pelet üretiminin elde edilebilmesi için ham madde öğütmede yaklaşık 3-4 mm çapında eleklerle sahip öğütücü değirmenlerin kullanılması önerilmektedir (Yılmaz,2014).

3.8.5. Bağlayıcı Türü ve Miktarı

Bağlayıcılar, kaliteli biyokütle pelet üretiminde çok önemli bir rol oynamaktadır. Biyopelet üretimi sırasında bağlayıcının kullanımı, peletlerin dayanıklılığını artırmasının yanı sıra, fiziksel kalitesini iyileştirmekte hem de üretim sırasında oluşan tozlanmayı ise azalmasına sebep olmaktadır.

52

Bunun yanı sıra peletleme verimini artırarak, üretim sırasında ihtiyaç duyulan enerji girdisi ve maliyetini de indirmektedir. İstenilen fiziksel ve termal özelliklere sahip peletlerin üretimi için kullanılacak bağlayıcı ham biyokütlenin özellikleri ele alınarak seçilmesi gerekmektedir. Pelet üretiminde kullanılan ham biyokütlenin nem içeriği partikülleri birarada tutup bağlayıcı görevi yapmasına elverişli değil ise en yaygın kullanılan katkı maddesi sudur. Doğal optimal bağlayıcılık özelliği olan lignin molekülü de peletleme prosesi sırasında oluşan ısı ile yumuşayarak bağlayıcılık özelliğini verebilmektedir.

Yapılan araştırmalar lignin oranlarının yaklaşık olarak %23 civarında bulunan susam bitkisinin ve pamuk saplarının bağlayıcı olarak biyokütle peletleme proseslerinde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu katkı maddelerinin yanısıra bağlayıcı amacı ile en çok kullanılan malzemelerden birisi ise nişastadır (Yılmaz,2014; Maraver,2015).

3.8.6. Peletleme Basıncı

Biyokütle peletleme proseslerinde uygulanan basınç değerinin, üretilen peletlerin sağlamlığı, yoğunluğu ve pelet üretimi için gerekli olan enerji ihtiyacı üzerine önemli bir etkisi vardır. Peletleme proseslerinde belirli bir basıncın uygulanarak biyokütle yapısında bulunan lignin, pektin veya nişasta gibi doğal bağlayıcılar partiküller arasındaki bağlanmanın artmasına sebep olmaktadır. Basınçta meydana gelen artış sonucunda daha yoğunlaştırılmış peletler üretilirken, peletlerin sıkıştırma direnci, sağlamlığı gibi bazı mekaniksel özelliklerini iyileştirilmesine neden olmaktadır. Biyokütleyle uygulanan peletleme basıncı ile pelet yoğunluğu arasındaki bağlantı, biyokütlenin bitki hücre duvar yoğunluğu ile değişmektedir. Literatür araştırmalarına bakılarak peletleme proseslerinde maksimum uygulanan basınç değerlerinin 50 MPa ile 600 MPa arasında olduğu bilinmektedir. Peletleme proseslerindeki bu basınç değeri için bir maksimum kuvvet bulunmaktadır. Bu değer üstüne çıkılması durumunda uygulanan enerjinin fazlası aşırı ısı enerjisine dönüşürken, pelet kalitesini ise düşürmektedir (Stelte,2012).

3.9. Biyopelet Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları

Doğal çevremizde önemli bir ölçüde bulunan, çeşitlilik açısından zengin bir durumda olan fakat, halen bilinçsiz kullanımdan dolayı sorun teşkil eden biyoyakıt kaynakları; günümüz şartlarına uygun bir yakıt olarak pelet haline getirilmesi ile hem ülkemizin 53 ekonomisine hem de çevre kirliliğinin önlenmesinde çare olabilecek potansiyele sahip bir yakıt türü olarak değerlendirilmelidir.

Dünya'nın gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerinin birçoğu artık kendi tarımsal ürünlerinden alternatif enerji üretmektedirler. Ülkemiz enerji açığını büyük oranda dışarıdan sağlamakta olup enerji arzındaki sürekliliği sağlamak için alternatif kaynaklara yönelmesi gerekmektedir. Pelet üretim tesislerinde yeni iş olanakları sağlayıp bölgede istihdamın artmasını sağlayacaktır. Peletlemenin başlıca avantajları aşağıdaki gibidir: (Anonim,2015)

- Biyokütle artıklarının ileri termokimyasal dönüşümler için kullanımı sağlanılır.
- Fosil yakıtta dışa bağımlılığı azaltarak %100 olarak yerli kaynaklardan elde edinilebilir.

- Yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır.
- Diğer fosil yakıtlara göre tehlikesizdir.
- Enerji yoğunluğu/hacim oranının artırılmasını sağlar.
- Elektrik üretiminde kullanılabilir yakıt türüdür.
- Katı yakıtlı sistemler arasında en sağlıklı yanma sistemine sahiptir.
- Hacimsel olarak depolamada stok alanı daha az yer gerektirir.
- Tarımsal atıklar pelet üretiminde değerlendirilerek atıklar geri kazanılabilir ve ülke ekonomisine ve çevreye katkı sağlar.
- Pelet sistemlerinde kreozot oranı yok denecek kadar azdır. Bu nedenden ötürü baca sistemi olmadan da dışarı egzoz edilebilir. Zehirlenme tehlikesi yoktur.
- Kazan dairesinde toz ve duman oluşumu olmaz.
- Ticari olarak pelet üretiminde kullanımı için ağaç kesimi yapılmasına gerek yoktur. Kolay alevlenebilir orman atıklarının toplanarak pelet üretiminde değerlendirilmesi sonucunda orman yangınlarına karşı korunmasına da önemli katkı sağlar.

Pelet kullanımının dezavantajlarını sıralayacak olursak aşağıdaki gibidir: (Anonim,2015)

- Fosil yakıtlı sistemlere göre yeni ve yaygın olmayan bir teknolojiye sahiptir.
- Yüksek kurulum maliyetine sahiptir.
- Ekipmanlarla birlikte taşımının gerçekleştirilmesi pahalı olabilmektedir.
- Pelet standartları farklılık göstermesi ve çevre düzenlemeleri pelet üretimine uygun olmasına engel olabilmektedir.

3.10. Biyopelet Standartları

Uluslararası biyoyakıt ticaretinin yaygınlaştırılması ve kolaylaştırılması için standartlaşmanın önemi büyüktür. Almanya, İsveç, Avusturya, İtalya, Fransa, Danimarka, Finlandiya, Hollanda, Birleşik Krallık ve diğer ülkeler 1990'ların başına kadar eski kömür test standartlarını benimsemiştir. 1990'ların sonlarında, Avusturya, İsveç, Birleşik Krallık, Fransa ve Danimarka gibi Avrupa ülkeleri, Evrensel Avrupa Katı Hal Pelet Yakıt Standardı (CEN) standardını kullanmıştır.

Standardizasyon için CEN, Teknik Komite (TC) 335 katı biyoyakıtları bünyesinde biyoyakıt standardını geliştirmiştir. Avrupa standardı, CEN/TC 335 kapsamında standardizasyon kaynakları katı biyoyakıt için geçerlidir (APEC,2017, Miranda,2015). Avrupa standardında peletler odunsu, otsu ve meyve gibi biyokütle türlerine göre üçe ayrılmaktadır. (Gürdil ve ark.,2015).

2008 yılında CEN standardı güncellenmiş ve pelet yakıt için uyarlanan ISO standartları kabul edilmiştir. 2000 yılında, Amerikan Pelet Yakıtları Enstitüsü (PFI), biyopelet düzenlemeleri ve pelet yakıtları için bir standardizasyon başlatmıştır. Avrupa'da ENplus ve Almanya'da DIN plus standartları, Kuzey Amerika'da ASTM, CANplus ve PFI standartları ve tüm dünyada ISO standartları gibi dünyada odun peletleri için birçok spesifikasyon bulunmaktadır. Avrupa standardı ENplus ve Kanada standardı CANplus biyopelet standartları aynıdır (APEC,2017, Miranda,2015). EN 14961-2 standardına göre üç biyopelet standardı vardır. ENplusA1: kimyasal olarak işlenmiş odun artıklarını, ENplusA2: kerestecilik atıklarını, sanayi faaliyetlerinden ortaya çıkan odun kabuklarını, köksüz ağaçları, ENplusB: Orman, ağaçlandırma ve diğer saf odunları, ağaç işleme sanayi atıklarını ve yan ürünler ile kullanılmış ahşap ürünlerini ifade etmektedir (Aydemir,2017). PFI standardı, Amerika Birleşik Devletleri'nde pelet piyasasında kullanılan biyopelet standardıdır. PFI standardı, DINplus, ENplus, ve CANplus standartlarına çok benzerdir. Bu pelet standartlarının dışında birçok ülkenin kendi pelet standartları vardır. ONORM M 7135 standardı Avusturya, ITEBE standardı Fransa, SS 18 71 70 standartları İsviçre ve CTI-R 04/5 standartları İtalya da kullanılan pelet standartlarıdır. Pelet yakıt standartlarındaki farklılıklar, bazı ülkelerde yanma ekipmanına uygun pelet kullanımını için kalite standartlarının geliştirilmesinden kaynaklanmıştır (APEC,2017, Miranda,2015).

Azot ve kükürt miktarı ise çevreye verilen zararı gösterir. Tablo 3.3'de biyopeletlerin standartlara göre nem, kül, üst ısıl değer, çap, uzunluk ve parça yoğunluğu gibi fiziksel özellikler ile azot ve kükürt içeriği gibi kimyasal özelliklerinin limit değerleri verilmiştir (Munawar ved Subiyanto,2014; Bantacut ve ark.,2013; Cahyono ve ark.,2022; Anonim,2017; Pradhan ve ark.,2018a; Pradhan ve ark.,2018b; Garcia ve ark.,2019; Anonim,2008; Amirta,2018). Tablo 3.3'deki standartlara göre genel biyopelet standartları çap için 6-10 mm, uzunluk 3.15-40 mm, ısıl değer için 16.5-19.5 MJ/kg, nem için %7-12, kül içeriği için %0.5-2 ve parça yoğunluğu için 600-1400 kg/m³ olduğu

görülmüştür. Azot içeriği %0.3-1 ve kükürt içeriği ise %0.03-0.08 aralıklarında değişmektedir.

Tablo 3.3. Biyopelet standartları

Pelet Standardı		Ne m (%)	Kül (%)	Üst ısıl değer (MJ/kg)	Çap (mm)	Uzunlu k (mm)	Yoğunlu k (kg/m ³)	N (%)	S (%)
ISO 17225-6	I1	≤10	≤1	≥16.5	6, 8 (±1)	3.15-40	≥600	≤0.3	≤0.05
	I2	≤10	≤1.5	≥16.5	6, 8, 10 (±1)	3.15-40	≥600	≤0.6	≤0.05
	I3	≤10	≤3	≥16.5	6, 8, 10, 12 (±1)	3.15-40	≥600	≤0.6	≤0.05
ONOR M M7135		< 10	<0.5	>18	4-10	<5D	> 1,120	≤0.3	≤0.04
DIN	DIN 51731	<12	<1.5	17.5-19.5	4-10	<5D	1,000-1,400	<0.3	<0.08
	DIN Plus	<10	<0.5	>18	4-10	<5D	>1,120	≤0.3	≤0.04
Pelet yakıt enstitüsü		-	<3(Standart) <1(Premium)	>19			>640		

ITEBE		<15	≤6	>16.9	6±1	10–30	> 650	<0. 3	<0.0 8
SS 18 71 70	Grup1	≤10	<0.7	≥16.9	<25	<5D	≥600	-	≤0.0 8
	Grup2	≤10	<0.7	≥16.9	<25	<5D	≥500	-	≤0.0 8
	Grup3	≤12	<1.5	≥16.9	<25	<5D	≥500	-	-
CTI-R 04/5	Pellet goldA1	≤10	≤0.7	≥16.9	6±1	3.15-40	≥600	≤0. 3	≤0.0 3
	Pellet goldA2	≤10	≤1.5	≥16.9	6±1	3.15-40	≥600	≤0. 5	≤0.0 3
PFI	PFI Süper Premium	≤6	≤0.5	-	6.35- 7.25	≤25.4	640-768	-	-
	PFI Premium	≤8	≤1	-	6.35- 7.25	≤25.4	640-768	-	-
	PFI Standard	≤10	≤2	-	6.35- 7.25	≤25.4	608-768	-	-
	PFI Utility	≤10	≤6	-	6.35- 7.25	≤25.4	608-768	-	-
CAN	CANplus A1	≤10	≤0.7	≥16.5	6±1, 8±1	3.15-40	600-750	≤0. 3	≤0.0 4
	CANplus A2		≤1.2	≥16.5				≤0. 5	≤0.0 5

	CANplus B		≤ 2	≥ 16.5				≤ 1	≤ 0.05
EN	ENplus A1	≤ 10	≤ 0.7	≥ 16.5	6 \pm 1, 8 \pm 1	3.15-40	600-750	≤ 0.3	≤ 0.04
	ENplus A2		≤ 1.2	≥ 16.5				≤ 0.5	≤ 0.05
	ENplusB		≤ 2	≥ 16.5				≤ 1.0	≤ 0.05

3.11. Peletin Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması

Pelet yakıtlar diğer ahşap yakıtlara göre daha verimli yanar. Peletler yerli linyitlere göre kıyaslama yapıldığında birim fiyatı daha fazla olduğu görülürken, ortalama verim daha yüksektir. LPG ile kıyaslandığında ise LPG'nin ortalama verimi peletlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Motorin ile kıyaslama yapıldığında ortalama verimin peletlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. (Tesisat Dergisi, B2B Medya,2022)

Tablo 3.4. Peletin diğer yakıtlarla karşılaştırılması

	Alt Isıl Değeri	2022 Birim Fiyat	Ortalama Verim	2022 Fiyatlarıyla TL/1000 kcal	En Ucuza Göre Yakıt Maliyeti
Pelet	4950 kcal/kg	5,00 TL/kg	%91	1,110	100
Yerli linyit	4959 kcal/kg	2,69 TL/kg	%65	0,834	117

İthal Sibirya Kömürü	7000 kcal/kg	4,23 TL/kg	%65	0,931	130
Fuel oil	9562 kcal/kg	7,44 TL/kg	%80	0,97	136
LPG	11000 kcal/kg	20,89 TL/kg	%92	2,064	288
Motorin	10256 kcal/kg	23,13 TL/kg	%84	2,685	375
Doğalgaz (300.000 m3/yıl ve altında)	8250 kcal/m3	7,14 TL/m3	%93	0,931	130
LNG	8250 kcal/m3	26,50 TL/m3	%93	3,533	494
Elektrik	860 kcal/kwh	4,35 TL/kwh	%99	5,112	714

Kaynak: Tesisat Dergisi, B2B Medya, 2022

Tablo 3.4'de görüldüğü üzere pelet alt ısıl değeri 4950 kcal/kg iken yerli linyit 4959 kcal/kg, ithal Sibirya kömürü 7000 kcal/kg, fuel oil 9562 kcal/kg, LPG 11000 kcal/kg, motorin 10256 kcal/kg, doğalgaz 8250 kcal/m3 olduğu görülmektedir (Tesisat Dergisi, B2B Medya,2022).

3.12. Önceki Çalışmalar

Kathiravale (2003) tarafından kentsel katı atığın (MSW) ısıtma değerini değerlendirilmesine yönelik olarak çalışma yapılmıştır. Şu anda uygulanan en yaygın yöntemler, Dulong tarafından türetilen denklemi kullanmak veya deneysel olarak bomba kalorimetresini kullandığını belirtmiştir.

MSW'nin fiziksel bileşiminden, yaklaşık veya temel analizinden elde edilen verilere dayalı olarak oluşturulan çok sayıda başka matematiksel denklem vardır. Bu

çalışma, sorunların üstesinden gelmek ve Malezya MSW'sinin yüksek ısıtma değerini hesaplayabilecek bir matematiksel model oluşturmak için başlatmıştır.

Sonuçlar, fiziksel kompozisyondan gelen korelasyonun, diğeriyle karşılaştırıldığında en iyi korelasyon katsayısını verdiğini göstermiştir. Yeni denklemler ayrıca diğeri yerleşik denklemlere karşı da test edilmiştir. Biyokütle, kömür ve diğeri katı yakıtların daha yüksek ısıtma değeri (HHV) ve bileşimi, enerji içeriğini tanımlayan ve bu yakıtların temiz ve verimli kullanımını belirleyen önemli özelliklerdir. Yakıtların nihai analizinden HHV'yi tahmin etmek için çeşitli korelasyonlar vardır. Ancak nihai analiz, çok pahalı ekipmanlar ve yüksek eğitimli analistler gerektirdiğini vurgulamıştır. Proksimal analiz ise sadece standart laboratuvar ekipmanları gerektirir ve herhangi bir yetkin bilim adamı veya mühendis tarafından yapılabileceğini belirtmiştir.

Parikh (2005) tarafından HHV'nin yaklaşık analiz ile korelasyonları geçmişte katı yakıt literatüründe ortaya çıkmış ancak bir yakıtı veya menşeye bağlı olarak çalışma yapılmıştır. 450 veri noktası kullanarak HHV'yi hesaplamak için katı yakıtların yaklaşık analizine dayalı genel bir korelasyon sunar ve ek 100 veri noktası için daha fazla doğrulama yapıldığını belirtmiştir. Kömürler, linyit, her tür biyokütle malzemesi ve char ile artık türevli yakıtlar gibi katı karbonlu malzemelerin tüm spektrumu, verilen mevcut korelasyonun türetilmesinde dikkate alınmıştır. HHVZ0.3536FCC0.1559VMK0.0078ASH (MJ/kg) (burada FC %1,0–91,5 sabit karbon, VM %0,92–90,6 uçucu madde ve kuru bazda ağırlık olarak %0,12–77,7 kül içeriği). Bu korelasyonun ortalama mutlak hatası %3,74 ve yanlılık hatası ise %0,12'dir. Bu korelasyonun en büyük avantajı herhangi bir yakıtın HHV'sini yakın analizinden hesaplayabilme yeteneğidir ve bundan dolayı yanma, gazlaştırma ve piroliz süreçlerinin modellenmesi için yararlı bir araç sağladığını vurgulamıştır.

Arshadi vd. (2008) tarafından talaşın endüstriyel peletlenmesini belirli faktörlerde tasarlanmış bir deney çalışması yapılmıştır. Talaş nem içeriği, taze çam fraksiyonları, depolanmış çam ve ladin belirtmiştir. Proses parametreleri ve yanıt değişkenleri, enerji tüketimi, pelet akış hızı, pelet kütle yoğunluğu, dayanıklılık ve nem içeriği yer almıştır. Nihai veriler, on iki endüstriyel ölçekli çalıştırmadan oluşturmuştur. Birçok yanıt değişkeni nedeniyle, veri değerlendirmesi 12x9 veri matrisinin temel bileşen analiziyle

yapılmıştır. İki temel bileşen modeli, merkez noktaların iyi bir tekrar üretilebilirliği ile bir numune kümesi göstermiştir.

Ayrıca, enerji tüketimi, kütle yoğunluğu ve dayanıklılık arasında pozitif bir korelasyon olduğunu ve bunların tümü akış hızı ve nem içeriği ile negatif olarak ilişkili olduğunu göstermiştir. Depolanmış çam daha çok yüksek dayanıklılık ve kütle yoğunluğu ile ilgiliydi. Ladin fraksiyonunun rolü belirsiz olduğunu belirtmiştir. Proses parametreleriyle zenginleştirilmiş tasarım matrisi, 12x6'lık bir matristir. Kısmi en küçük kareler regresyonu, pelet nem içeriği ve kütle yoğunluğu için mükemmel sonuçlar göstermiştir. Dayanıklılık modeli umut vericidir. GC-MS ile ölçülen yağ ve reçine asidi konsantrasyonlarının 12 x 21 veri matrisi, taze ve depolanmış çam arasındaki farkları çok net bir şekilde göstermiştir. Ladin fraksiyonunun etkisi daha az belirgin olduğunu ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra, yağ ve reçine asitlerinin peletleme işlemi üzerindeki etkisi doğrulanamadı, bu yeni ve depolanmış çam talaşı arasındaki diğer farklılıkların araştırılması gerektiğini göstermiştir. Bu çalışma, orta düzeyde enerji tüketimi ve yüksek pelet kalitesi için peletleme prosesi tasarlanmasının mümkün olduğunu ortaya koymuştur.

Erol vd. (2010) tarafından 20 farklı biyokütle örneğinin yaklaşık analiz verilerinden ısı değerlerinin tahmin edilmesi için 13 farklı yeni formül geliştiren çalışma yapılmıştır. Bu formülleri elde etmek için, farklı tiplerden 20 biyokütle numunesi, kalorifik değerlerin belirlenmesi ve yakın analizler için analiz etmiştir. Biyokütle örneklerinin ölçülen net ısıtma değerleri 15.41 ile 19.52 MJ/kg arasında değişmiştir. Tüm korelasyonlar en küçük kareler regresyon analizleri ile geliştirilmiştir. Korelasyonların regresyon katsayıları 0,829 ile 0,898 arasında değişmektedir. 13 farklı korelasyondan belirlenen ısıtma değerlerinin standart sapmaları 0,4419 ile 0,5280 arasında olduğunu ortaya koymuştur.

Sultana (2010) tarafından buğday, arpa ve yulaftan elde edilen tarımsal biyokütle artıklarını kullanan pelet tesisleri için minimum üretim maliyeti ve optimum bitki büyüklüğü belirlenen çalışma yapılmıştır. Tekno-ekonomik bir model geliştirmek için minimum, ortalama ve maksimum saman verimini içeren üç senaryo dikkate alınmıştır. Batı Kanada'da pelet üretiminin yaşam döngüsü maliyeti tahmin edilmiştir. Üç verim senaryosu için ekonomik olarak optimum üretim tesisi boyutu sırasıyla 70.000, 150.000

ve 150.000 çıkmıştır. Ton başına karşılık gelen üretim maliyetleri sırasıyla 170.89\$, 129.42\$ ve 122.17\$'dir. Bununla birlikte, pelet maliyeti, hem ortalama hem de maksimum verim için 70.000 ton yıl'ın üzerindeki kapasiteler için çok fazla değişmez. Optimum boyut, hem ortalama hem de maksimum verim durumları için aynıdır.

Duyarlılık analizleri, pelet üretiminin toplam maliyetinin en çok saha maliyetine ve ardından nakliye maliyetine duyarlı olduğunu göstermiştir. Şu anda, tarımsal peletlerden elde edilen enerjinin maliyeti, doğal gazdan elde edilen enerjiden daha yüksek olduğunu vurgulamıştır.

Nilsson vd. (2011) tarafından tarımsal hammaddelerden pelet üretimi için maliyetler ve enerji gereksinimleri analiz eden çalışma yapılmıştır. İncelenen materyaller Salix, kanarya otu, kenevir, saman, elekler, kolza tohumu küspesi, kolza küspesi ve damıtıcı atıklarıdır. Yıllık 80.000, 8000, 800 ve 80 ton pelet üretimine sahip dört üretim ölçeği analiz edilmiştir. En çok ilgi gören hammaddelerin Salix ve kanarya otu olduğu sonucuna varılmıştır. Rekabetçi hammadde maliyetlerine ve kabul edilebilir yakıt özelliklerine sahip olmasının yanı sıra mevcut büyük ölçekli peletleme fabrikalarında talaşla karıştırılabilmektedir. Saman, düşük üretim maliyetlerine sahiptir, ancak külle ilgili ciddi sorunlara neden olabilir ve elemelerde olduğu gibi, küçük ölçekli yakıcılarda kaçınılması gerekir. Kenevir, yüksek hammadde maliyetlerine sahiptir ve ticari olarak daha az ilgi görmektedir. Damıtıcı atığı, kolza tohumu küspesi ve kolza küspesi, protein yemi olarak kullanıldığında daha yüksek alternatif değerleri bulmuştur. Üretim ölçeği, üretim maliyetleri üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Büyük ölçekli tesislerde makineler çok daha verimli kullanılarak net bir maliyet tasarrufu sağlanmıştır. Hem statik hem de mobil küçük ölçekli peletleme, kârlı olmak için ucuz hammaddeler, düşük işçilik maliyetleri ve uzun kullanım süreleri gerektirdiğini vurgulamıştır. Çoğu durumda, briketleme ticari olarak daha uygun olacağını belirtmiştir. Havada kurutulmuş ekinlerden elde edilen pelet üretimindeki enerji kullanımını, ham madde olarak nemli talaşın kullanıldığı zamandan genellikle daha yüksek olmadığını belirtmiştir.

Sadaka ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada mısırın katı yakıt olarak karbonlaştırılmasından elde edilen biyokömür olasılığı ortaya konmuştur. Biyokütleyi kesikli bir reaktörde 300, 350 ve 400 °C reaksiyon sıcaklıklarında ve 1, 2 ve 3 saatlik reaksiyon sürelerinde karbonize etmiştir. Sıcaklık ve süre arttırıldığında, biyokütle kütle veriminin -%82.6'dan 35.2'ye ve uçucuların 72.1'den 43.9'a düştüğünü bulmuşlardır. Öte

yandan, aynı koşullar altında biochar'ın ısı değeri 17,6 MJ/kg'dan 21,9 MJ/kg'a, sabit karbon içeriğinin ise 0,5'ten 0,9'a çıktığı tespit edilmiştir. Karbonizasyon işlemiyle elde edilen biyokarbonun yüksek kaliteli bir yakıt olarak kabul edilebileceği sonucunu ortaya konmuştur.

Yin (2011) tarafından daha yüksek ısıtma değeri (HHV) tahmin edilmesi için kullanılan biyokütle için yakın ve nihai analizlerine dayanan iki yeni ampirik korelasyon ortaya konmuştur. Korelasyonlar, farklı coğrafi konumlardan elde edilen ve çeşitli kökenlere sahip biyokütle numunelerinin verileri kullanılarak adım adım doğrusal regresyon yöntemi ile geliştirilmiştir.

Korelasyonlar, ek biyokütle verilerinin dahil edilmesi yoluyla doğrulanmıştır. Nihai analize dayalı korelasyon ($HHV = 0,2949C + 0,8250H$), %5'in altında bir ortalama mutlak hataya ve yalnızca %0,57'de marjinal ortalama yanlışlık hatasına sahiptir. Yakın analize dayalı diğer korelasyon ($HHV = 0,1905VM + 0,2521FC$), düşük mutlak MBE (%0,67) ile faydalı bir tamamlayıcı korelasyondur. Diğer araştırmacılar tarafından tanımlanan diğer 12 korelasyonun HHV tahmin doğrulukları da karşılaştırılmıştır.

İbrahim ve ark. (2012) tarafından biyokütle olarak söğüt, okaliptüs, meşe ve çam odununu iki farklı sıcaklıkta (270 ve 290 °C) ve iki farklı reaksiyon vakitlerinde (30 ve 60 min) kavurmak için çalışma ortaya konmuştur. Deney sırasında sıcaklığın çok önemli bir rol oynadığını gözlemlediler. Düşük sıcaklıkların ve kısa reaksiyon sürelerinin yüksek enerjiler için en iyi yöntem olduğu sonucuna varmışlardır. Bu koşullar altında, söğüt odununun % 79, meşe odununun % 80 ve okaliptusun % 75 enerji düzeyine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Medic ve ark. (2012) tarafından mısır atığı ile 3 farklı nem içeriğinde (30, 45 ve 50), 3 farklı sıcaklıkta (200, 250 ve 300 °C) ve 3 farklı reaksiyon süresinde (10, 20, 30) kavurma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık arttıkça enerji yoğunluğunun %2-19 oranında arttığını, kütle ve enerji veriminin ise %3- 45 ve %1-35 oranında azaldığı bulunmuştur.

Garcia vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada mevcut potansiyel biyokütle yakıtlarının çok çeşitli olması nedeniyle, biyokütle yanmasından rekabetçi enerji üretiminin değerlendirilmesine ilişkin en önemli parametrelerden biri olduğundan, ısıtma

değerlerinin doğru bir şekilde ölçülmesi önceki bir tasarım gerekmiştir. Bu çalışmada, 100 farklı biyokütle örneğinin daha yüksek ısıtma değeri (HHV) deneysel olarak belirlenmiştir.

Test edilen biyoyakıtların listesi, farklı türde katı yoğunlaştırılmış ticari yakıtları, orman ve tarım endüstrisi artıklarını, odunsu ve otsu artıkları, enerji veren mahsulleri ve tahılları içermektedir. HHV'nin esas olarak karbon ve oksijen içeriğine tespit edilen bağımlılığını ölçmek için veriler arasında bir korelasyon geliştirmek için nihai analize dayalı denklemler kullanılmıştır. Sonuçları ile bibliyografyada bulunan teorik denklemlerden tahmin edilenler arasında karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Geniş deneysel veri tabanı, katı biyoyakıtların karakterizasyonuna ve normalleştirilmesine bir katkı olarak, tüm durumlarda deneysel değerlerden % 6'nın altında sapmalar ile yeni öngörücü korelasyonlar önerildiği ortaya konmuştur.

Garcia vd. (2014) tarafından biyokütle, kaynağına veya elde edildiği coğrafi bölgeye bağlı olarak değişen özelliklere sahip, yaygın olarak homojen olmayan bir yakıt olarak bildiren çalışma yapılmıştır. Bu nedenle, belirli bölgelerin biyokütle özelliklerine özgü tahmin denklemlerinin geliştirilmesi önerilmiştir. Bu çalışmada, yüz İspanyol kökenli biyokütlenin daha yüksek ısıtma değerini (HHV) ilişkilendirmek için bazı korelasyonlar elde edilmiştir. Karbon, oksijen, kül ve sabit karbon içeriklerinin en önemli değerler olduğu kanıtlanırken, nemin dahil edilmesi onları büyük ölçüde iyileştirir. Sonuç olarak dört denklem test edilen numuneler için %5'e yakın hatalarla elde edilmiştir; bu da tek veya bileşik katı biyoyakıtların karakterizasyonunu tahmin etmek ve normalleştirmek için düşük maliyetli rutinlere bir katkıyı temsil ettiği ortaya konmuştur.

Jiang (2014) tarafından çamur ve biyokütle malzemelerinin birlikte peletleştirilmesi için proses parametrelerinin pelet özellikleri üzerindeki etkilerine yönelik çalışma yapılmıştır. Peletlerin gevşek pelet yoğunluğu ve Meyer sertliği belirlenmiştir. Parçacıklar arası yapışma bağlarının mekanizmalarını araştırmak için taramalı elektron mikroskobu, FT-IR spektrumları ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Yanma özelliklerini araştırmak için termogravimetrik analiz uygulanmıştır. Sonuçlar; basınç, çamur oranı ve sıcaklık gibi artan parametrelerle pelet yoğunluğunun arttığını göstermiştir. Düşük basınç, sıcaklık ve biyokütle boyutunda yüksek sertlikte peletler elde edilebildiği ortaya konmuştur. Yeniden peletleştirme için optimum nem içeriği %10-15

idi. Ayrıca, çamurun eklenmesi, biyokütlenin heterojenliğinin neden olduğu pelet sertliğindeki çeşitliliği azaltabileceğini göstermiştir. Pelet içerisindeki çamur oranının artması uçucu madde salınımını yavaşlatacaktır.

Protein ve ligninin sinerjistik etkileri, çamur ve biyokütlenin birlikte peletleştirilmesinde mekanizma olabileceği ortaya konmuştur.

Munawar (2014) tarafından çeşitli potansiyel tarımsal kalıntıların değerlendirilmesi için pelet yapımı gerçekleştirilmiş ve elde edilen peletler karakterize eden çalışma yapılmıştır. Hammadde olarak palmiye yağı boş meyve demeti (OPEFB), palmiye yaprağı (OPF), palmiye yağı kabuğu (OPS) ve palmiye yağı mezokarpı (OPM) kullanılmıştır. Biyopellet üretimi, homojen malzeme elde etmek için malzeme kırma ile başlamış ve daha sonra pelet oluşturma ile devam etmiştir. Pelet yapımı, 150, 200 ve 250 °C sıcaklıklarda 15 dakika boyunca geleneksel peletleyici kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Biyopelet kalitesini belirlemek için nem içeriği, yoğunluk, kül içeriği ve kalorifik değer gibi bazı özellikler ölçülmüştür. Su içeriği, kül içeriği, yoğunluk ve kalorifik değere göre 200 ve 250 °C'de preslenen OPM biyopelletleri en iyi formülü göstermiştir. Bu biyopeletin özellikleri, %1,7-1,9 nem içeriği, %6,85-7,45 kül ve 3,814-4,724 kcal/kg kalori değeri olarak bulunmuştur.

Akkaya (2016) tarafından yapılan çalışmada, uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yaklaşımını kullanan yeni bir biyokütle daha yüksek ısıtma değeri (HHV) tahmin modelini önermiştir. Geniş kapsamlı biyokütle bazlı malzemelere ilişkin 444 veri açık literatürden derlenmiştir. Tahmin modeli için girdi seti, sabit karbon, kül ve uçucu madde gibi yakın analiz bileşenlerini içermektedir. ANFIS model oluşturma sürecinde, bulanık çıkarım sistemi (FIS) yapısı oluşturmak için ızgara bölme, alt kümeleme ve bulanık c-ortalamlar olarak adlandırılan üç yöntem dikkate alınır. En iyi ANFIS tabanlı tahmin modelini belirlemek için her FIS yöntemi için bir dizi simülasyon çalışması yapılmıştır. Her bir yöntemden elde edilen optimal sonuç birbiriyle ve ilgili literatürde verilen modellerin sonuçları tahmin performans kriterleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, alt kümelemeye dayalı ANFIS modelinin en iyi biyokütle HHV tahmin modeli olduğunu göstermiştir. Test aşamasında elde edilen regresyon katsayısı (R2) ve kök

ortalama karesel hata (RMSE) sırasıyla 0,8836 ve 1,3006'dır. Sonuç olarak, önerilen ANFIS tabanlı modelin yüksek doğrulukta biyokütle HHV tahmini elde etmek için etkili bir teknik olduğu belirtilmiştir.

Jiang vd. (2016) tarafından peletleme, biyokütlenin kütle ve enerji yoğunlaştırması için yaygın olarak kullanımına yönelik çalışma yapılmıştır. Pelete olan talep arttıkça konvansiyonel hammaddeler yetersiz kalacaktır. Bu çalışmada, biyokütle peletleri ile karıştırılan çamurun katı yakıt olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çamur karışımı peletler ve saf biyokütle peletler, yakın analiz, nem adsorpsiyonu, pelet yoğunluğu, Meyer sertliği, hacim genişlemesi, daha yüksek ısıtma değeri ve yanma özellikleri dahil olmak üzere enerji tüketimini ve pelet özelliklerini değerlendirmek için araştırılmıştır. Sonuçlar, saf biyokütle peletlerine kıyasla, çamur karışımı peletlerin daha az enerji girdisine, daha fazla sertliğe, daha düşük nem emme oranına ve daha iyi yanma özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, çamur karışımı peletlerin artan kül içeriğine dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu sonuçlar, yakıt kalitesindeki iyileşme ile kül içeriğindeki artış arasında bir denge olduğunu göstermiştir. Çamur karıştırılmış peletlerin uygun bir katı yakıt olabileceği bulunmuştur.

Phonlayut (2017) tarafından Tayland'da hasattan sonra bol miktarda bulunan mısır kalıntılarında, kavrulmuş bir fraksiyon ekleyerek biyokütle peletinin verimliliğini artırmaya yönelik çalışma yapılmıştır. Kavrulma işlemi (225 – 300 C) azot gazı atmosferinde 30 dakika) mısır koçanı (sadece yaprak ve sapları) uygulanmış ve daha sonra çeşitli oranlarda (100:0, 90:10, 20:80, 0:100) biyokütle ile karıştırılmıştır. Peletler, 80 MPa basınçta 8 mm çapında bir kalıpla tek eksenli pres kullanılarak oluşturulmuştur. Peletlerin yığın yoğunluğu, genleşme oranı, nem içeriği ve dayanıklılık gibi fiziksel özellikleri ölçülmüştür. Kül içeriği ve ısı değeri standart laboratuvar yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir.

Garcia vd. (2018) tarafından biyokütle, onu ana enerji kaynağı olarak geleneksel fosil yakıtları tamamlamak için umut verici bir hammadde haline getiren özellikler gösteren çalışma ortaya konmuştur. Genel olarak zayıf fiziksel özellikleri nedeniyle bir şekilde sınırlıdır, ancak bunlar geliştirilebilir. Mevcut çalışmanın amacı, farklı katı biyokütle katkı maddelerinin (badem kabuğu, kakao kabuğu, üzüm posası, Miscanthus, zeytin pirina ve zeytin çekirdeği) etkisini ve sıcaklık, çam talaşına nem içeriği ve gliserol

ilavesi, PIN ve bunun kavrulmuş muadili PINT, peletleme performans, aşınma indekslerine, daha yüksek ısıtma değerlerine ve enerji yoğunluklarına özel önem vermiştir.

Üzüm posası gibi küçük miktarlarda lignin açısından zengin katı katkı maddelerinin eklenmesinin, masaüstü ölçekli bir cihaz kullanılarak peletleme sırasında hem PIN hem de PINT'in doğal bağlanma özelliklerini geliştirdiği gözlenmiştir. Ayrıca, %13 toplam nem içeriğinin ve %10 ila %20 arasında bir gliserol ilavesinin, sırasıyla PIN ve PINT'in peletleme özelliklerini iyileştirdiği ve enerji yoğunluklarını arttırdığı bulunmuştur.

Özyuğuran vd. (2018), tarafından çeşitli otsu/odunsu malzemelerden meyve suyuna kadar değişen otuz dokuz farklı biyokütle örneği hamurlar, elementel analiz (C, H, N, O ve S) sonuçlarına dayalı olarak daha düşük ısıtma değerini (LHV) ve daha yüksek ısıtma değerini (HHV) tahmin eden doğrusal ve doğrusal olmayan ampirik denklemler geliştirmek için çalışma yapılmıştır. Bu denklemler, değerlerine göre yorumlanmıştır. Tahmin edilen değerler ve deneysel veriler dikkate alınarak tahmin performansı yapılmıştır. Ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak hata (AAE), ortalama yanlılık hatası gibi birçok kriter (ABE) ve kök ortalama kare sapma (RMSD) dikkate alınmıştır. Doğrusal denklemler için MAE'nin en düşük değerlerinin HHV ve LHV için 0,3119 MJ/kg ve 0,2906 MJ/kg olduğu, sırasıyla AAE(%), HHV için (1,6659-4,5917) ve LHV için (1,8216-5,5039) aralığında değişmiştir.

Ayrıca doğrusal denklemler test edildiğinde ABE(%)'nin HHV için (0.0549-0.2976) ve LHV için (0.0519-0.4177) aralığında değiştiği belirlenmiştir. RMSD'nin en iyi sonuçları (sırasıyla HHV ve LHV için 0,4230 ve 0,3607) Denklem 1 için elde edilmiştir. Lineer olmayan terimlerin lineer denklemlere eklenmesiyle, daha fazla iyileştirmenin sağlanıp sağlanamayacağını kontrol etmek için incelenmiştir. Ancak, lineer olmayan denklemlerin yarattığı iyileştirmeler önemsiz olduğu ve doğrusal ampirik denklemlerin tatmin edici tahmin performansı sağladığı ve çok geniş biyokütle yelpazesinin ısı değerini tahmin etmeye çalışılabileceği sonucuna varılmıştır.

Mian vd. (2020) tarafından tipik biyokütle peletlerinin yanma davranışı ve kinetiği, TGA ve Dağıtılmış Aktivasyon Enerji Modeli kullanımı incelenmiştir.

Peletlerden ve ham biyokütllerden elde edilen biyokömürler de, biyokütle peletinin yanma mekanizmasını derinlemesine anlamak için ayrıntılı olarak karakterize edilmiştir.

Sonuçlar, pelet yanmasının gazdan arındırma aşamasının aktivasyon enerjilerinin 118.1–230.2 kJ/mol olduğunu, ham biyokütllerinkinden daha yüksek olduğunu, ancak pelet yakmanın kömür yakma aşaması için aktivasyon enerjisinin 201.4–222.4 kJ/mol'e düştüğünü göstermiştir. Peletlemenin neden olduğu biyokütle peletinin kompakt fiziksel yapısı, kütle ve ısı difüzyonunu bastırdığı ve böylece gazdan arındırma aşamasının aktivasyon enerjisini arttırdığını belirtmiştir. Peletleme aynı zamanda buhardan arındırma aşamasında deoksijenasyon, polimerizasyon ve aromatisasyon reaksiyonlarını bastırdığı, bu da pelet kömürünün ham biyokütle kömüründen daha yüksek reaktiviteye sebep olmasına neden olmuştur. Dolayısıyla, biyokütle pelet yanmasını kontrol eden faktör buharlaşma aşaması için kütle ve ısı difüzyonu iken, kömür yakma aşaması için kimyasal reaksiyon olduğu bulunmuştur.

Picchio vd. (2020) tarafından orman ve tarımsal biyokütle, enerji üretimi için önemli yenilenebilir ve sürdürülebilir yakıt kaynakları olduğunu ortaya koymuştur. Artan tüketimleri, temel olarak küresel enerji talebindeki ve fosil yakıt fiyatlarındaki artışla ve aynı zamanda petrolün sınırlı mevcudiyeti ve yenilenemeyen yakıtlarla karşılaştırıldığında bu biyokütlenin daha düşük çevresel etkisini vurgulamıştır. Özellikle pelet sektöründe hem üretim hem de kurulan dönüşüm tesisi sayısı açısından önemli gelişmeler yaşanmıştır. Ayrıca odunsu olmayan biyokütleden pelet üretiminin önemi artmaktadır. Bir biyoyakıtın doğru ve sürdürülebilir kullanımının temel yönlerinden biri kalitesinin değerlendirilmesidir. Peletleme için olası ham maddelerin geniş yelpazesi göz önüne alındığında, pelet üretimi ile uğraşırken daha da önemlidir. Son on yılda pelet kalite değerlendirmesi ve iyileştirmesi ile ilgili önemli sayıda makale göz önüne alındığında, bu geniş ve ilginç konu hakkındaki en güncel bilgiler hakkında genel bir bakış sunmayı amaçlamıştır. Tarım ve ormancılık kökenli peletlere odaklanılmış olup son beş yıldaki (2016–2020) pelet kalite değerlendirmesi ve iyileştirmeye ilişkin spesifik konuya ilişkin belgeleri analiz edilmiştir. İnceleme bulguları özellikle şu sırayla sunulmaktadır: farklı tarımsal orman yönetim sistemlerinin pelet kalitesi üzerindeki etkisi; saf hammaddelerden elde edilen peletlerin analizi (karıştırma veya bağlayıcı yok); harmanlama ve bağlayıcıların pelet kalitesi üzerindeki etkisi; ve tedavi öncesi ve sonrası

etkileri. Son olarak, bu konudaki gerçek araştırma eksiklikleri hakkında kısa bir tartışma ve gelecekteki araştırmalar için olasılıklar sunulmaktadır. Bu incelemenin, biyokütle özelliklerinin pelet kalitesi üzerindeki etkisine odaklanmıştır.

Yerizam vd. (2020) tarafından biyokütle hızla üretilebildiği için yenilenebilir bir enerji malzemesidir ancak düşük enerji yoğunluğu, taşıma, depolama ve taşıma sorunları gibi zayıf fiziksel özellikleri nedeniyle biyokütlenin doğrudan yakılma dezavantajına yönelik çalışma yapılmıştır. Biyokütle yanma kalitesini artırmak için, biyopelet olarak bilinen pelet formundaki biyokütle yakıtı geliştirilmiştir. Biyopelet, odun tozundan elde edilen alternatif bir yakıt olarak geliştirilmiştir. Briket biyopelete dönüştürülebilen malzemelerden biri de hindistan cevizi kabuğudur. Bu çalışma, SNI standartlarına göre farklı sıcaklık değişimleri kullanarak hindistan cevizi kabuğu biyopeletlerinin etkisini belirlemeyi amaçlamaktadır. 1 saat sabit süre ile 300°C, 400°C, 500°C ve 600°C gibi sıcaklık parametrelerindeki değişimlerle hindistan cevizi kabuğu hammaddelerinden biyopelet yapılması amaçlanmıştır. Kullanılan yapıştırıcı, %10'luk bir konsantrasyona sahip tapyoka unudur. Çalışmanın sonuçlarından, biyopeletin en iyi kalitesinin sıcaklık değişimi açısından olduğu, yani kürlleme sıcaklığı parametresinin 500°C ve %10,58 nem içeriği ile 1 saat pişirme süresi olduğu görülmüştür. %11,03 kül içeriği, %30,01 uçucu madde içeriği, sabit karbon içeriği %48,38 ve ısıl değeri 6564,88 cal/g olduğundan SNI 8021-2014 bio-pelet standartlarını ve diğer birçok standardı karşılamaya yeterli olduğu belirtilmiştir.

Cui (2021) tarafından yapılan çalışmada biyokütle pelet yakıtı, biyokütle enerji kullanımının önemli biçimlerinden birisi olduğunu ortaya koymuştur. Üretim sürecinde yüksek kaliteli pelet yakıtın nasıl elde edileceği günümüzde hararetli bir tartışma konusudur. Biyokütle peletlerinin kalitesi peletleme koşullarına duyarlı olduğundan, bu araştırmanın amacı peletleme koşulları, fiziksel kalite ve peletleme enerji tüketimi arasındaki karmaşık ilişkiyi araştırmaktır. Bu çalışmada mikroalgler, elma ağacı talaşları, mısır koçanları ve ayçiçeği çekirdeği kabukları birkaç kontrollü çalışma parametresi ile tek bir peletleme sisteminde peletleme için seçilmiştir. Ardından pelet numune yoğunluğu, dayanıklılık ve peletleme enerji tüketimi test edilmiştir. Peletlerin fiziksel özelliklerini ve peletleme enerji tüketimini tahmin etmek ve açıklamak için modeller geliştirmek ve çalışma parametrelerini optimize etmek için bir yanıt yüzey metodolojisi (RSM) çok amaçlı optimizasyon yöntemi kullanıldı. Sonuçlar, dört pelet RSM

yönteminin optimizasyon sonuçlarının, üretilen yüksek kaliteli peletlerin değerlerine (hepsi $\leq 5\%$) iyi bir şekilde karşılık geldiğini göstermiştir. Diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, mikroalgler daha düşük basınçlarda yüksek yoğunluklu peletler üretebilir ve böylece enerji tüketimini ve maliyeti azaltabilir.

Mikroalg topağı optimal hazırlama parametreleri de RSM aracılığıyla elde edilmiştir (sıcaklık 108 °C, basınç 76.2 MPa ve nem içeriği %11). Optimum parametreler altında pelet dayanıklılığı, yoğunluk ve peletleme enerji tüketimi sırasıyla %96,5, 1658,4 kg/m³ ve 9,19 kJ/kg idi. Mikroalg gibi ham maddelerin, biyokütle peletlerinin üretimi için potansiyel ve değerli ham maddeler olduğu vurgulanmıştır.

Wistara vd. (2021) tarafından biyopelletin kül içeriğini sülfürik asit ile ön işlem yoluyla azaltmayı amaçlayan çalışma ortaya koymuştur. Biopelletin nem içeriği, dayanıklılığı, kül içeriği, yoğunluğu ve ısıl değerleri DIN EN 14961-2 ve 51731 standartlarına göre belirlenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), son derece dayanıklı biyo-topakta parçacıklar arası kenetlenmenin varlığını göstermiştir. Termal analiz, kütle ve su kaybının, hemiselüloz, selüloz ve lignin ayrışmasının sırasıyla 76.12 °C, 113.97-200 °C, 310-360 °C ve >400 °C'de meydana geldiğini göstermiştir.

Üretilen biyopellet nem içeriğini %3,40-8,90, dayanıklılığı %97,75-99,38, H₂SO₄ ile ön işlemden sonra kül içeriğini %1,02-1,47, kontrol kül içeriğini %2,20-3,31, yoğunluğu 1,03-1,30 g /cm³ ve kalori değeri 3954-4608 kcal/kg'dır. Biyopellet kalitesi, kontrolün kül içeriği dışında DIN EN 14961-2, 51731 ve SNI 8021-2014 standardının gerekliliklerini karşıladığı belirtilmiştir.

BÖLÜM IV

MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

Denemeler, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimyasal Teknolojiler Laboratuvarında yürütülmüştür. Çalışmada; sera atıkları peleti, odunsu atık peleti, çam peleti, çam+mdf peleti, fındık küspesi peleti, ayçiçeği kabuğu peleti, kavak + kozalak peleti numuneleri kullanılmıştır. Numunelerin nem, kül ve uçucu madde miktarı tayini öncesi peletlerin havanda öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, domates sera atıkları peleti (SAP), meşe odun atık peleti (OAP), çam peleti (ÇAP), çam+mdf peleti (ÇMP), fındık küspesi peleti (FKP), ayçiçeği kabuğu peleti (AKP) ve kavak+kozalak peleti (KKP) olmak üzere yedi farklı pelet kullanılmıştır. Her bir pelet numuneleri Türkiye’de pelet üretimi yapan farklı işletmelerden alınmıştır. Analiz öncesi pelet numuneleri havanda öğütülmüştür. Peletlerin nem, kül ve uçucu madde gibi kısa analizleri yapılmıştır. Sabit karbon miktarı ise nem, kül ve uçucu madde miktarının yüzden çıkarılması ile elde edilmiştir. Üst ısı değer adyabatik kalorimetre bombası ile belirlenmiştir. Pelet numunelerinin içerdiği karbon, hidrojen, azot ve kükürt içeriği gibi kimyasal bileşimi elementel analiz cihazı ile belirlenmiştir. Oksijen miktarı, diğer elementlerin toplamının yüzden çıkarılması ile bulunmuştur. Her analiz üç defa tekrarlanmış, elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Çalışmada ele alınan biyopelet türleri Şekil 4.1’de yer almaktadır.



Şekil 4.1. Biyopelet türleri

(a) sera atıkları (b) odunsu atık (c) çam peleti (d) çam+mdf peleti (e) fındık küspesi peleti (f) ayçiçeği kabuğu peleti (g) kavak+kozalak peleti



Şekil 4.2. Etüv

Şekil 4.2.'de yer alan Lab.Companion Marka OF-11E Model etüvde nem tayini analizi gerçekleştirilmiştir. Etüv, 230 VAC voltage özelliklerine sahiptir.

Nem tayini analizi için etüvden çıkartılan numuneler desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Desikatörde yer alan numunelerin soğuma sonrasında tartım işlemleri Şekil 4.3'de yer alan AND GR-200 Marka model hassas terazide gerçekleştirilmiştir. Hassas terazi maksimum 210 g, minimum 10 mg, e=1 mg, d=0,1 mg özelliklere sahiptir.



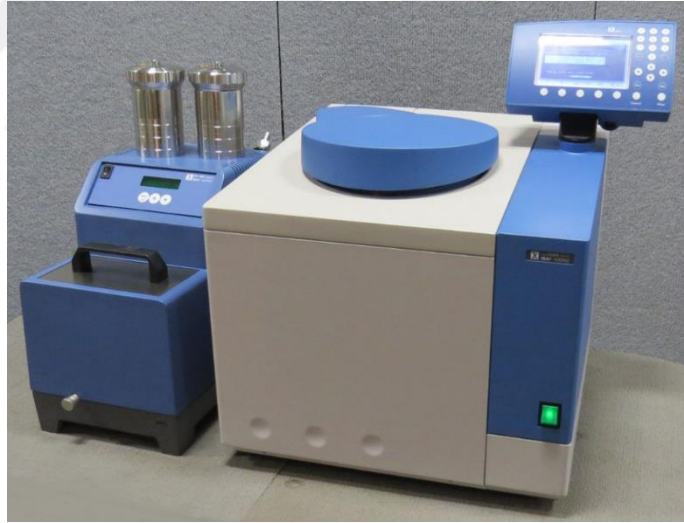
Şekil 4.3. Hassas terazi

Numunelerin kül tayini analizi Protherm Furnaces marka PLF 110/10 model cihaz ile gerçekleştirilmiş olup, numuneler 600 °C'de Şekil 4.4'de yer alan fırında gerçekleştirilmiştir. Krozeler kül tayini için 600 °C'deki fırında bekletilmiştir.



Şekil 4.4. Kül Fırını

Pelet numuneleri standart koşullarda bir kalorimetre bombasında oksijen ortamında yakılıp, peletlerin üstüsl değerleri, ASTM D 5865–04 standardına göre Şekil 4.6’da yer alan IKA Werke Marka C2000 Basic Model kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. IKA Werke cihazı KV500 Digital özelliklere sahiptir.



Şekil 4.5. Kalorimetre Cihazı

Flash 2000 Marka model Şekil 4.7’de elementel analiz cihazında 950 °C yüksek sıcaklıkta yaklaşık 2 mg katı organik numuneyi yakma yoluyla örnekteki C,H,N,S element yüzdeleri tayin edilmiştir.



Şekil 4.6. CHNS Analizörü

4.2. Metot

Bu çalışmada, domates sera atıkları peleti (SAP), meşe odun atık peleti (OAP), çam peleti (ÇAP), çam+mdf peleti (ÇMP), fındık küspesi peleti (FKP), ayçiçeği kabuğu peleti (AKP) ve kavak+kozalak peleti (KKP) olmak üzere yedi farklı pelet kullanılmıştır.

4.2.1. Nem Tayini

Nem tayini ASTM E871-82'e göre yapılmıştır. Nem tayini analizi için öğütülmüş pelet numunesi petri kabına %0.1 duyarlılıkta bir miktar alınarak, $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ' de etüvde sabit tartıma gelinceye kadar bekletilmiştir. Sabit tartım sonucunda nem miktarı (N), Eşitlik 1 deki gibi ağırlık farkından hesaplanmıştır. Örnekler desikatöre alınmış ve soğutulmuştur. Tartım yapılarak sonuç kaydedilmiştir.

$$R = \frac{A - C}{A - B} * 100 \quad (4.1)$$

Burada,

R = Nem miktarı, (%)

A = Numune ile birlikte kabın ve kapağının kurutmadan önceki kütlesi, (g)

B = Kapağı ile birlikte numune kabının kütlesi, (g)

C= Numune ile birlikte kabın ve kapağının kurutmadan sonraki kütlesi, (g)

4.2.2. Kül Tayini

Kül tayini, ASTM D1102-84'e göre yapılmıştır. Boş bir porselen kroze 600° C'deki kül fırınına konularak burada üzerinde bulunan nemin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Daha sonra fırından çıkartıldıktan sonra kroze ve kapağı desikatörde soğumaya bırakılmıştır. İki tartım arasındaki fark 0,1 mg oluncaya kadar bu işlem tekrarlanmıştır. Kül miktarı (K), Eşitlik 2'deki gibi kül miktarının başlangıç numune miktarına oranlanması ile elde edilmiştir.

$$\text{Kül (\%)} = (m_1 / m_2) \times 100 \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte,

m_1 = Kül miktarı (g),

m_2 = Başlangıç numune miktarı, (g)

4.2.3. Uçucu Madde Miktarı Tayini

Uçucu madde miktarı tayini ASTM E872'e göre yapılmıştır. Krozeye alınan 1 g numune kül fırınında 900 ± 20° C'de 7 dakika bekletildikten sonra tartım alınmıştır ve bu işlem sabit tartım elde edilene kadar devam etmiştir. Uçucu madde miktarı (UM) Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Uçucu madde miktarı (\%)} = [(m_1 - m_2 / m_2 \times 100] - M \quad (4.3)$$

Burada,

m_1 = Kullanılan örneğin ağırlığı (g),

m_2 = Örneğin ısıtmadan sonraki ağırlığı, (g)

M = Kullanılan örneğin nem yüzdesi, (%)

4.2.4. Sabit Karbon Miktarı Tayini

Sabit karbon miktarı (SK), nem, kül ve uçucu madde miktarının yüzden çıkarılması ile elde edilmiştir.

4.2.5. Isıl Değerinin Belirlenmesi

Özel bir kalorimetre cihazıyla ölçülen ısıldeğer, joule/kilogram ya da kcal/kg ile ifade edilir. Pelet numunelerinin üst ısıl değerleri, ASTM 5865–13 standardına göre IKA Werke marka kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Numuneler standart koşullarda kalorimetre bombasında oksijen ortamında yakılmasının ardından, kalorimetre kabı içindeki suyun sıcaklık derecesinin artışı ve de sistemin ortalama gerçek ısı sığasına göre ısıl değeri tayin edilmiştir.

Materyalin iyi bir yakacak olabilmesi için ısıl değeri yüksek olması arzu edilir. AB standartlarına göre, materyalin yakıt olarak değerlendirilebilmesi için ısıl değeri 3700 kcal/kg ve üzerinde olması gerekir.

4.2.6. Elementel Analiz Değeri Belirlenmesi

Pelet numunelerinin karbon (C), hidrojen (H), azot (N), ve kükürt (S) tayini Thermo Marka Flash 2000 model elementel analiz cihazı ile yapılmıştır. Oksijen (O) miktarı diğeri elementlerin toplamının yüzden çıkarılması ile bulunmuştur.

BÖLÜM V

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma da tarımsal atıklardan elde edilen yedi biyopeletin yakıt özellikleri uluslararası pelet standartları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca yedi biyopeletin fiziksel özellikleri, kısa analiz ile kimyasal analiz sonuçlarına göre üst ısıl değerlerinin hesaplanmış ve uygun matematiksel modeller bulunmuştur.

5.1. Tarımsal Atıklardan Elde Edilen Biyopeletlerin Yakıt Özelliklerinin Uluslararası Standartlarla Karşılaştırılması

Bu çalışmada, sera atıkları peleti, odunsu atık peleti, çam peleti, çam+mdf peleti, fındık küspesi peleti, ayçiçeği kabuğu peleti, kavak + kozalak peleti numuneleri kullanılmıştır. Tarımsal atıklardan elde edilen yedi biyopeletin pelet çapı, pelet yoğunluğu gibi fiziksel özellikleri, nem, kül, sabit karbon ve uçucu madde gibi kısa analizleri ile üst ısıl değer sonuçları tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Peletlerin fiziksel özellikleri, kısa analiz ve üst ısıl değer sonuçları

Numune Adı	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Pelet çapı (mm)	Yoğunluk (kg/m ³)
SAP	3797	7.27	18.47	69.95	4.31	5.2	1210
OAP	4704	7.08	0.54	77.17	15.21	6.2	1260
ÇAP	4496	8.51	5.07	72.02	14.4	6.5	1190
ÇMP	4470	6.06	2.41	73.22	18.31	9.3	1150
FKP	4389	17.22	3.17	50.51	29.10	5.0	1270
AKP	4700	7.92	3.55	70.64	17.89	8.2	1000
KKP	4741	7.02	1.02	71.34	20.62	10.0	970

Sera atıkları peleti, odunsu atık peleti, çam peleti, çam+mdf peleti, fındık küspesi peleti, ayçiçeği kabuğu peleti ve kavak + kozalak peleti numunelerine ait üst ısıl değeri için analizleri yapılmıştır.

Üst ısıl değer analizi hesaplamasına göre kavak + kozalak peleti 4741 kcal/kg ile en yüksek orana sahip iken, sera atıkları peleti 3797 kcal/kg ile en düşük orana sahip olduğu görülmektedir. ISO 17225-6, ONORM M 7135, DIN, ITEBE ve CTI-R 04/5 standart ölçülerini sağlamaktadır. Odun ile kıyaslandığında kuru odunda kilo başına 3600 kalori varken, ıslak odunda 1500 kalori değerine sahiptir. Kalori değeri en yüksek odunlar meşe, kayın, çam ve kavak'tır. Ülkemizdeki linyitlerin yaklaşık kalori değeri 1350 kcal/kg'dır. (MTA,2011).

Biyopeletlerin kısa analizleri kapsamında nem oranı en düşük pelet %1.02 ile kavak+kozalak peleti olurken, en yüksek nem oranı ise %17.22 ile fındık küspesi peletine aittir. Odun ile kıyaslandığında odunun nem oranı %20'dir. Kömür ile kıyaslandığında ise kaliteli ithal kömürde nem oranı en fazla %1 iken kaba nem oranı en fazla %5 olmalıdır. Kaliteli yerli kömürde ise nem oranı kaba nemde %20'yi geçmemelidir (İnci Enerji, 2023). Biyopeletlerin nem oranı pelet standartlarına göre ele alındığında ise sera atıkları peleti, odunsu atık peleti, çam peleti, çam+mdf peleti, ayçiçeği kabuğu peleti, kavak + kozalak peleti ISO 17225-6, ONORM M 7135, DIN, ITEBE, SS 18 71 70, CTI-R 04/5, PFI Standard, PFI Utility, CAN ve EN standart ölçülerini sağlamaktadır.

Çalışmada kullanılan peletlerin kül oranları % 0.54-%18.47 arasında değişmektedir. Biyopeletlerin kül oranları ele alındığında Tablo 5.1'de görüldüğü üzere en düşük orana odunsu atık peleti sahip iken en yüksek orana ise %18.47 ile sera atıkları peleti sahiptir. Kömür ile kıyaslandığında ise kömürün kül oranı %5 ile %7 arasında değişmektedir. Odun ile kıyaslandığında yapraklı ağaçların gövde-odun kül miktarı %0,22 ile 0,96 iken iğne yapraklıların ise %0,15 ile %0,39 arasında değişmektedir (İnci Enerji, 2023). Odunsu atık peleti ISO 17225-6, DIN, ITEBE, SS 18 71 70, CTI-R 04/5, PFI, CAN, EN standartlarına uygundur. Kavak+kozalak peleti ISO 17225-6 I2 ve I3, DIN, ITEBE, SS 18 71 70 Grup 3, PFI Standard ve PFI Utility, CANplus A2 ve CANplus B, ENplusA2 ve ENplusB standartlarını sağlamaktadır. Çam peleti, çam+mdf peleti, fındık küspesi peleti, ayçiçeği kabuğu peleti ITEBE standartlarını sağlarken, sera atıkları peleti standartları sağlamamaktadır.

Çalışmada uçucu madde miktarı en yüksek % 77.17 ile odunsu atık peletine sahip iken, en düşük uçucu madde miktarı ise %50.51 ile fındık küspesi peletine aittir. Sabit karbon miktarı ele alındığında ise en yüksek orana %29.10 ile fındık küspesi peleti sahip iken en düşük sabit karbon miktarı ise %4.31 oranı ile sera atıkları peletine aittir. Kömür ile kıyaslandığında ise kömürün uçucu madde miktarı %11 ile %34 arasındadır.

Odun ile kıyaslandığında ise okaliptüs odun kömüründe %18.8 iken meşede %13.3'tür. Uluslararası pelet standartlarında uçucu madde miktarı için herhangi bir aralık belirlenmemiştir.

Uluslararası pelet standartlarında sabit karbon için belirli bir aralık belirlenmemiş olup, sabit karbon oranları Tablo 5.1' de verildiği gibi en fazla %29.1 ile fındık küspesi atıklarında gözlemlenirken, en az %4.31 ile sera atıklarına ait pelete sahiptir.

Tablo 5.1'de görüleceği üzere pelet çapları 5-10 mm arasında değişmektedir. En küçük pelet çapı fındık kabuğu peletine ait olup, 5 mm'dir. En büyük pelet çapı ise kavak+kozalak peletinin çapı olup, 10 mm'dir. Pelet çapı ONORM M 7135 ve DIN pelet standartlarında 4-10 mm arasında değişmekte bununla birlikte SS 18 71 standardında ise <25 mm olduğu için çalışmada kullanılan tüm peletler bu standart ölçülerini sağlamaktadır. Ayrıca ITEBE, CTI-R 04/5, CANplus, ENplus ve PFI standartlarında çam+mdf peleti, ayçiçeği kabuğu peleti ve kavak+kozalak peletinin çapı uygun değildir. Çalışmada kullanılan pelet uzunlukları 10-34 mm arasında değişmektedir. Çam peleti ve kavak+kozalak peletinin uzunluğu pelet uzunluğu aralığı 10-30 mm olduğu için ITEBE ve PFI standartlarının üstünde olduğu için bu standartları sağlamamaktadır. Çam+mdf peletinin uzunluğu, PFI standart pelet uzunluğunun üzerindedir. Bunların dışında kalan diğer peletlerin uzunluğu, tüm standartlara uygundur.

Çalışmada kullanılan peletlerin yoğunlukları Tablo 5.1 de görüldüğü üzere %4.31-29.10 aralığında değişmektedir. En fazla pelet yoğunluğu 1270 kg/m³ fındık küspesi atıklarına aittir. En düşük pelet yoğunluğu ise 970 kg/m³ ile kavak+kozalak peletine aittir. Uluslararası pelet standartlarına göre çalışmada ele alınan sera atıkları peleti, odunsu atık peleti, çam peleti, çam+mdf peleti, fındık küspesi peleti, ayçiçeği kabuğu peleti ve kavak + kozalak peleti numuneleri ISO 17225-6 ve ITEBE standartlarına uygundur. ONORM M7135 standartlarına göre kıyaslandığında ise ayçiçeği kabuğu peleti ve kavak + kozalak peleti standartlara uygun değil iken diğer pelet numuneleri uygundur. DIN standartlarına göre kavak +kozalak peleti standartları sağlamamaktadır.

Yapılan bu çalışmada sera atıkları peleti, odunsu atık peleti, çam peleti, çam+mdf peleti, ayçiçeği kabuğu peleti, fındık küspesi peleti ve kavak+kozalak pelet numuneleri için karbon (C), hidrojen (H), azot (N), kükürt (S) ve oksijen (O) için elementel analizleri sonucu Tablo 5.2' de verilmiştir. Uluslararası pelet standartlarında sadece azot ve kükürt miktarları ile ilgili bir aralık verilmiştir.

Tablo 5.2. Pelet numunelerinin elementel analiz sonuçları

Numune Adı	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)
SAP	40.61	5.59	2.90	0.79	50.11
OAP	45.17	4.65	-	-	50.18
ÇAP	46.60	5.89	-	-	47.51
ÇMP	43.67	5.59	3.29	-	47.45
FKP	45.63	5.29	1.66	0.10	47.32
AKP	50.56	6.10	0.85	0.09	42.40
KKP	47.94	5.91	0.09	-	46.06

Tablo 5.2’de görüldüğü gibi hidrojen miktarı %6.10-4.65 arasında değişmektedir. En yüksek hidrojen miktarı ayçiçeği küspesi peletinde görülürken en az miktar ise odunsu atık peletinde tespit edilmiştir.

En yüksek karbon miktarı ayçiçeği küspesi peletinde 50.56 ile görülürken en az ise sera atıkları peletinde 40.61 tespit edildi. Odunsu atık peletinde 45.17, çam peletinde 46.60, çam+mdf peletinde 43.67, fındık küspesi atıklarında 45.63, kavak+kozalak peletinde ise 47.94 olarak tespit edilmiştir.

Çalışmada ele alınan peletlerin azot oranları 0.09-3.29 arasında değişmekte olup en yüksek orana çam+mdf peleti sahip iken en düşük orana ise kavak+kozalak peleti sahiptir. Odunsu atık peleti ve çam peletinde ise azot miktarı bulunmamaktadır. Biyopeletlerin azot miktarlarına göre standartları ele alındığında kavak+kozalak peleti, odunsu atık peleti ve çam peleti ISO 17225-6, ONORM M 7135, ITEBE, CTI-R 04/5, CAN ve EN standartlarını sağlarken, sera atıkları peleti, çam+mdf peleti, fındık küspesi peleti, ayçiçeği kabuğu peleti ise sahip olduğu azot oranından dolayı standartları sağlamamaktadır.

Kükürt miktarları ele alındığında en yüksek miktar sera atıkları peletinde tespit edilmiştir. Oksijen miktarları ele alındığında ise en yüksek miktar odunsu atık peletinde görülürken en az oran ayçiçeği küspesi peletinde tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada peletlerin kükürt oranları ele alındığında en yüksek orana sera atıkları peleti sahiptir. Tablo 5.2’de görüleceği üzere odunsu atık peleti, çam peleti, çam+mdf peleti, fındık küspesi peleti ve kavak+kozalak peleti kükürt bulunmamaktadır. Sera atıkları peleti ISO 17225-6, ONORM M 7135, DIN, ITEBE, CTI-R 04/5, PFI, CAN ve EN standartlarını sağlamamaktadır.

Fındık küspesi peleti ve ayçiçeği kabuğu peleti ENplusB standartlarına uygun olup, ISO 17225-6, ONORM M 7135, DIN, ITEBE, SS 18 71 70, CTI-R 04/5, PFI, CAN, ENplus A1 ve ENplus A2 standartlarına uygun değildir. Peletlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri uluslararası pelet standartları ile karşılaştırılmıştır. Odunsu atık peleti, Amerikan Pelet Enstitüsü (PFI) Süper Premium, Avusturya Standardı (ONORM M 7135) ve Almanya Standardı (DINplus) dışındaki diğer standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir. Odunsu atık peleti ve kavak+kozalak peletlerinin standartlara en uygun pelet türleri olduğu belirlenmiştir. Sera atıkları peleti, fındık küspesi peleti, ayçiçeği kabuğu peleti ve çam+mdf peleti standartlara uygun olmayan analiz sonuçları içermediği belirlenmiştir.

Bu çalışmada ele alınan odunsu atık ve kavak+kozalak peletlerinin, nem, kül ve ısı değerleri ile N ve S elementel analiz sonuçları değerlendirildiğinde standart limit değerleri içerisinde olduğu görülmüştür. Odunsu atık peleti, PFI Süper Premium, ONORM M 7135 ve DINplus dışındaki diğer standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir. Odunsu atık peleti PFI Premium kategorisinde, kavak+kozalak peleti PFI standart kategorisinde ve çam peleti PFI Utility standartları kategorisinde yer alabilecek pelet türleridir.

5.2. Biyopeletlerin Kısa Analiz ve Elementel Analiz Sonuçlarına Göre Üst Isıl Değerlerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada yedi pelet numunesinin deneysel olarak belirlenen üst ısı değerleri, farklı çalışmalarda biyopelet, biyoyakıt, biyokütle için kullanılan üst ısı değerleri matematiksel modelleri ile hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Biyopeletlerin kısa analiz kapsamında nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon analiz sonuçları Tablo 5.3'de yer almaktadır.

Tablo 5.3. Pelet numunelerinin kısa analiz sonuçları

Numune Adı	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)
SAP	7.27	18.47	69.95	4.31
OAP	7.08	0.54	77.17	15.21
ÇAP	8.51	5.07	72.02	14.4
ÇMP	6.06	2.41	73.22	18.31
FKP	17.22	3.17	50.51	29.1
AKP	7.92	3.55	70.64	17.89
KKP	7.02	1.02	71.34	20.62

Bu çalışmada biyokütle veya her türlü yakıtın kısa analiz sonuçlarının ÜİD tahmini için kullanıldığı Tablo 5.4’de verilen altı matematiksel model seçilmiştir (Callejón-Ferre ve ark.2011; Duranay ve Yılgin 2018; Yin 2011, Korkmaz 2022; García ve ark, 2014a, Akkaya 2016; Parikh ve ark. 2005).

Tablo 5.4. Kısa analiz sonuçlarına göre üst ısıl değeri eşitlikleri

No	Eşitlik
E1	$\dot{U}ID = 19.914 - 0.2324K$
E1	$\dot{U}ID = 18.3 - 0.00398K^2 - 0.1121K$
E3	$\dot{U}ID = 0.3543SK + 0.1708UM$
E4	$\dot{U}ID = 0.1905UM + 0.2521SK$
E5	$\dot{U}ID = 0.15734(UM + SK) + 4.24397$
E6	$\dot{U}ID = -10.8141 + 0.3133 (UM + SK)$
E7	$\dot{U}ID = 0.4108SK + 0.1934UM - 0.0211K$

Tablo 5.3’de verilen kısa analiz sonuçları Tablo 5.4’ de de yer alan denklemlerde yerine yazılarak E1’den E7’ye kadar olan denklemlerle hesaplanan ÜİD değerleri ve deneysel olarak belirlenen ÜİD değeri (DÜİD) Tablo 5.5’ de verilmiştir. Deneysel ÜİD ve modellerden hesaplanan ÜİD’lerin uyumlu olduğu görülmektedir.

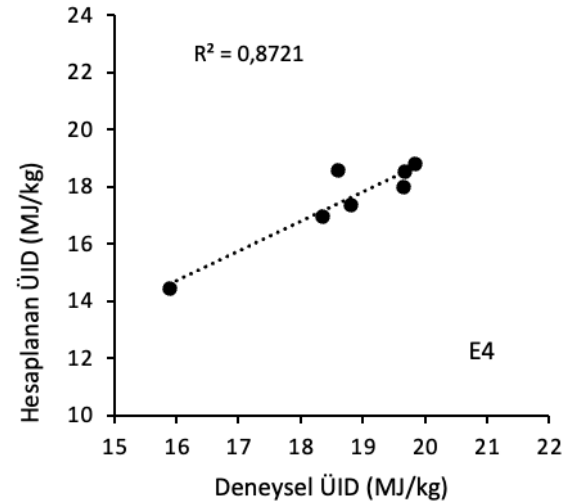
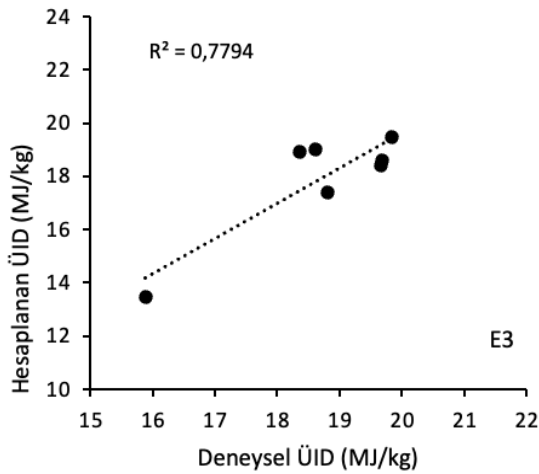
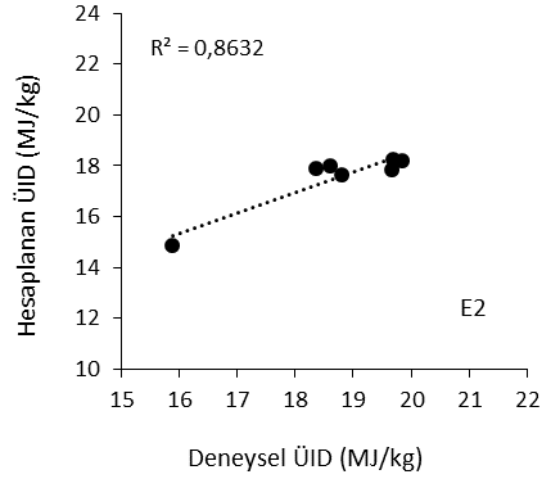
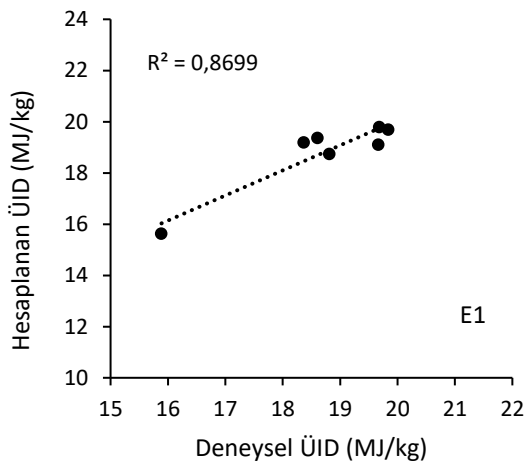
Tablo 5.5. Kısa analiz sonuçlarına göre üst ısıl değer tahminleri

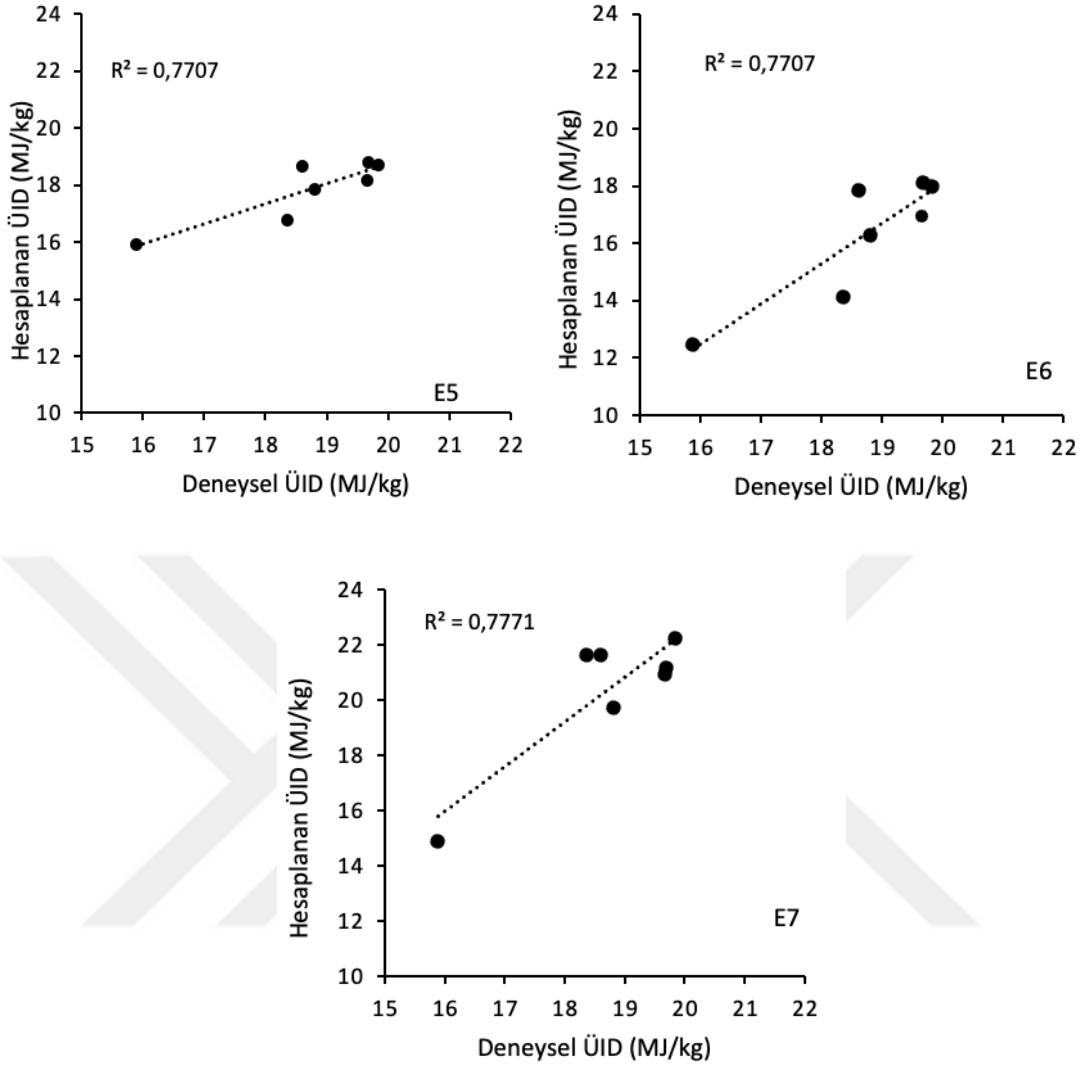
Numune Adı	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	DÜİD
SAP	15.622	14.872	13.474	14.412	15.298	12.452	14.909	15.887
OAP	19.789	18.238	18.570	18.535	18.779	18.129	21.162	19.681
ÇAP	18.736	17.629	17.403	17.350	17.841	16.261	19.737	18.811
ÇMP	19.354	18.007	18.993	18.564	18.645	17.862	21.632	18.606
FKP	19.177	17.905	18.937	16.958	16.770	14.128	21.656	18.364
AKP	19.089	17.852	18.404	17.967	18.173	16.922	20.936	19.665
KKP	19.677	18.182	19.491	18.789	18.713	17.997	22.246	19.836

Şekil 5.1 incelendiğinde, eşitliklerin R^2 değerlerinin farklı (0,5312-0,8699) aralığında değiştiği belirlenmiştir. Kısa analiz sonuçlarına göre hesaplanan ÜİD ile deneysel ÜİD arasında en fazla uyum $R^2=0.8721$ ile uçucu madde ve sabit karbon miktarına bağlı olan E4 ($\dot{U}ID=0.1905UM+0.2521SK$) eşitliğinde görülmüştür.

Daha sonra en iyi uyum $R^2=0.8699$ ile ÜİD'in sadece kül miktarına bağlı olduğu E1 (ÜİD=19.914-0.2324K) modelinde olduğu belirlenmiştir. Ham biyokütlenin kül içeriği daha yüksek, ısı değeri daha düşüktür çünkü kül enerji içermeyen bir üründür.

Biyopeletlerin ısı değeri dikkate alındığında yüksek kül içerikli peletlerin düşük ısı ürettiği görülmektedir (Munawar ve Subiyanto,2014). Bu çalışmada deneysel olarak en düşük üst ısı değere sera atıkları peletleri sahiptir. En düşük $R^2 =0.7707$ ile deneysel ÜİD ve hesaplanan ÜİD arasındaki en az uyum E5 (ÜİD=0.15734(UM+SK)+4.24397) ve E6 (ÜİD=-10.8141+0.3133(UM+SK)) eşitliğinde görülmüştür.





Şekil 5.1. Deneysel ve kısa analiz sonuçları ile hesaplanan üst ısıl değerler arasındaki ilişki

C, H ve O yakıtın doğrudan organik kısmının bileşimini veren biyokütlenin ana elementleridir. C, ısıl değere en fazla katkıda bulunan elementtir. Genellikle tarımsal biyokütlerde karbon içeriği (%45), odunsu (%47) ve biyokütle harmanından (%46-47) kısmen daha azdır (Harun ve Afzal 2016). Bu sebeple Tablo 5.6’de verilen matematiksel modellerde ısıl değer ağırlıklı olarak karbon miktarına göre hesaplanmıştır. ÜİD hesaplanması için biyokütle veya her türlü yakıtın elementel analiz sonuçlarının kullanıldığı yedi matematiksel model Tablo 5.6’de verilmiştir (Callejón-Ferre ve ark. 2011; Yin 2011, García ve ark. 2014b; Özyuğuran ve ark. 2018).

Tablo 5.6. Elementel analiz sonuçlarına göre üst ısı değer eşitlikleri

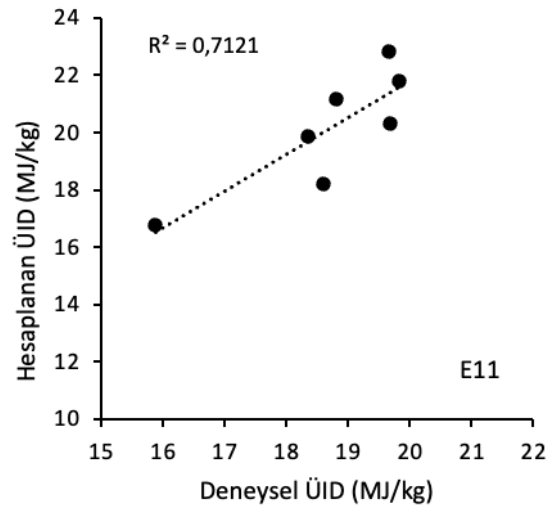
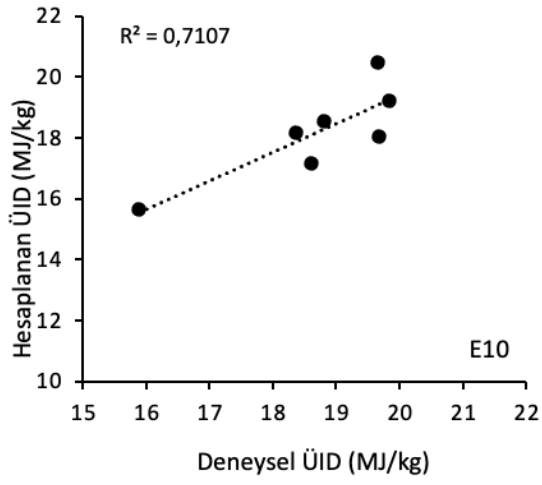
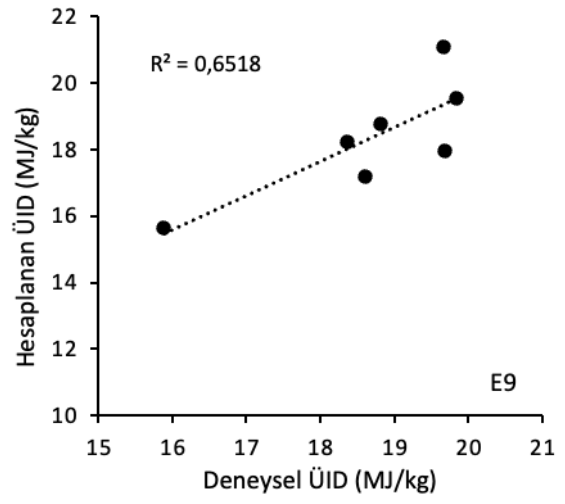
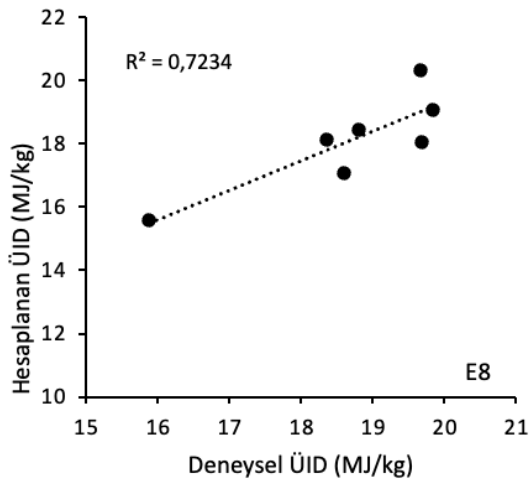
No.	Eşitlik
E8	$\dot{U}ID = 0.3259C + 3.4597$
E9	$\dot{U}ID = -3.147 + 0.468C$
E10	$\dot{U}ID = 5.736 + 0.006C^2$
E11	$\dot{U}ID = -2.907 + 0.491C - 0.261H$
E12	$\dot{U}ID = -5.290 + 0.493C + 5.052(H-1)$
E13	$\dot{U}ID = -3440 + 0.517(C+N) - 0.433(H+N)$
E14	$\dot{U}ID = -3.393 + 0.507C - 0.341H + 0.067N$

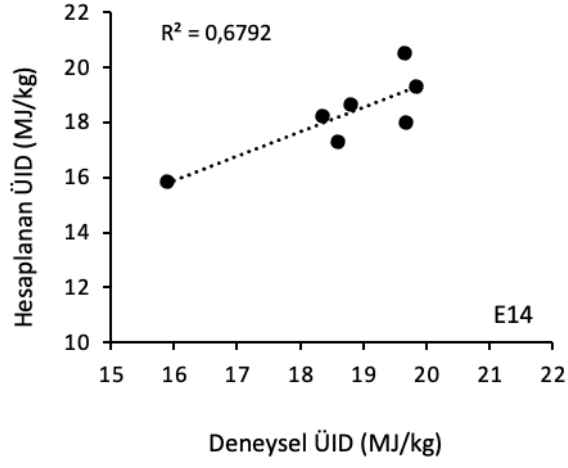
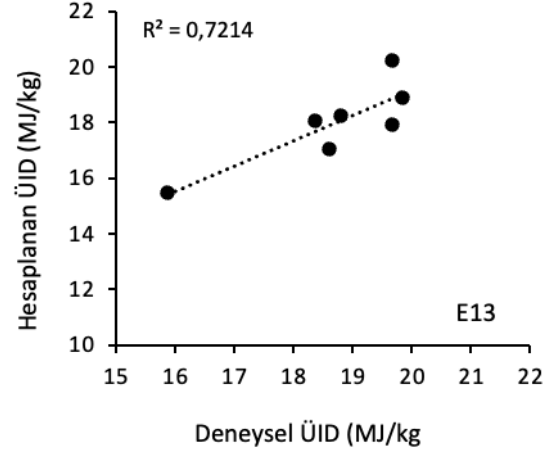
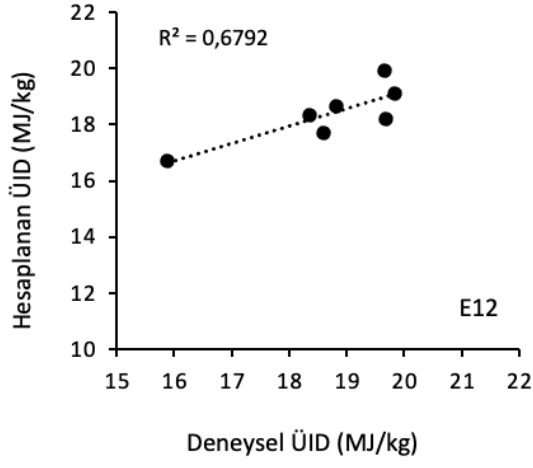
Tablo 5.2’de verilen kısa analiz sonuçları Tablo 5.6 da verilen denklemlerde yerine yazılarak E8’den E14’e kadar olan denklemler ile hesaplanan ÜID değerleri ve DÜID değeri Tablo 5.7’de verilmiştir. Tablo 5. 7.’de SAP ve ÇMP’nin hesaplanan ÜID ile DÜID değerlerinin yakın olduğu görülmektedir. AKP’nin ÜID ile DÜID değerlerinin en az uyum gösterdiği görülmektedir.

Tablo 5.7. Elementel analiz sonuçlarına göre üst ısı değer tahminleri

Numune Adı	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	DÜID
SAP	15.574	15.631	15.634	16.769	16.694	15.484	15.858	15.887
OAP	18.058	17.978	18.065	20.303	18.181	17.923	17.993	19.681
ÇAP	18.436	18.765	18.542	21.147	18.647	18.225	18.662	18.811
ÇMP	17.076	17.178	17.143	18.182	17.692	17.062	17.291	18.606
FKP	18.117	18.229	18.161	19.876	18.331	18.049	18.208	18.364
AKP	20.326	21.074	20.464	22.844	19.937	20.218	20.515	19.665
KKP	19.089	19.525	19.199	21.802	19.083	18.903	19.289	19.836

Şekil 5.2’de deneysel ÜID ve modellerden hesaplanan ÜID’lerin uyumu görülmektedir. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi R^2 değerleri 0,6518-0,7234 aralığında değişmektedir. Elementel analiz sonuçlarına göre hesaplanan ÜID ile deneysel ÜID arasında en fazla uyum $R^2 = 0.7234$ ile sadece karbon miktarına bağlı olan en basit ÜID modeli olan E8’dir ($\dot{U}ID = 0.3259C + 3.4597$). Daha sonra en iyi uyum $R^2 = 0.7214$ ile E13 ($\dot{U}ID = -3.440 + 0.517(C+N) - 0.433(H+N)$) modelinde olduğu belirlenmiştir. En düşük $R^2 = 0.6518$ ile deneysel ÜID ve hesaplanan ÜID arasındaki en az uyum E9 ($\dot{U}ID = -3.147 + 0.468C$) eşitliğinde görülmüştür.





Şekil 5.2. DeneySEL ve elementel analiz sonuçları ile hesaplanan üst ısıl değerler arasındaki ilişki

BÖLÜM VI

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kısa analiz sonuçlarıyla hesaplanan modellerden en yüksek R^2 yi veren E4 eşitliği, uçucu madde ve sabit karbon miktarına bağlıdır. Elementel analiz verileriyle hesaplanan modeller içinde en yüksek R^2 yi veren ise E8 eşitliğidir ve sadece karbon miktarına bağlıdır. Biyopelletlerin üst ısıl değerlerini en çok etkileyen kül miktarı ve karbon miktarı olduğu söylenebilir. Kısa analiz sonuçlarına göre hesaplanan üst ısıl değerlerin, deneysel olarak hesaplananlarla daha uyumlu olduğu görülmüştür.

Odunsu atık ve kavak+kozalak peletlerinin, nem, kül ve ısıl değer ile N ve S elementel analiz sonuçları değerlendirildiğinde standart limit değerler içerisinde olduğu görülmüştür. Odunsu atık peleti, PFI Süper Premium, ONORM M 7135 ve DINplus dışındaki diğer standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir. Odunsu atık peleti PFI Premium kategorisinde, kavak+kozalak peleti PFI standart kategorisinde ve çam peleti PFI Utility standartları kategorisinde yer alabilecek pelet türleridir. En fazla kül içeriğine sera atıkları peleti, en fazla nem içeriğine fındık küspesi peleti, en yüksek ısıl değere ise kavak+kozalak peleti sahip olduğu belirlenmiştir. En fazla azotu çam+mdf peleti ve en fazla kükürtü sera atıkları peleti içermektedir. Sera atıkları peleti, fındık küspesi peleti, ayçiçeği kabuğu peleti ve çam+mdf peleti standartlara uygun olmayan analiz sonuçları içermektedir. Bu peletlerin özellikle kül ve azot içerikleri standartlarda belirtilen limit değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan biyopelletlerin sahip olduğu ısıl değerleri ve nem içerikleri bakımından katı yakıtla çalışan yakma sistemlerinde alternatif enerji kaynağı olarak kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Türkiye’de özellikle tarım ve ormancılık faaliyetleri en önde gelen Mersin ilinde zirai atıklardan elde edilen biyopelletlerin, geleneksel katı yakıtlar arasında yer alan odun ve kömür gibi yakıtlara ekonomik ve ekolojik açıdan alternatif olarak kullanımı önemlidir.

KAYNAKÇA

- Acaroğlu, M., Haciseferoğulları, H., (2014). Biyokütle Enerjisinde Briketleme ve Peletlemede Yeni Test Prosedürleri
- Agirre I., Griessacher, T., Rösler, G., Antrekowitsch, J., (2013). Production of Charcoal as an Alternative Reducing Agent from Agricultural Residues using A Semi-Continuous Semi-Pilot Scale Pyrolysis Screw Reactor. Fuel Processing Technology, Vol. 106, pp. 114–121.
- Agriculture Organization, (2008). The State of Food and Agriculture 2008: Biofuels: prospects, risks and opportunities, Food & Agriculture Org., Vol. 38.
- Akesen, A., (2010). Türkiye’de Odun Üretim-Tüketim İlişkilerinin Ormancılık Politikası Açısından İrdelenmesi. Orman Mühendisliği Anabilim Dalı Ormancılık Politikası ve Yönetimi Programı. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Akünel, T., Tolay, M., (2003). Biyomotorin, Avusturya ve Türkiye, Bitirme Projesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Amirta R., (2018). Pellet Kayu Energi Hijau Masa Depan, EHM DEPAN 2018, Mulawarman University Press.
- Amutha, R., Gunasekaran, P., (2001). Production of Ethanol From Liquefied Cassava Starch Using Coimmobilized Cells of Zymomonas Mobilis and Saccharomyces Diastaticus. Journal of Bioscience and Bioengineering, 92, 560-564.
- Anonim, (2010). Biyoetanol Çalışmaları, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/03 -biyoetanol/be_uretim.html.
- Anonim (2015). TMMOB. Enerji ve Kömür Raporu. http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/22ed738b2c7ba36_ek.pdf (Erişim tarihi: 27.02.2023)
- Ar, F., (2007). İkinci Kuşak Biyoyakıtlar-Biyorafineriler”, Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası Yayını, 12- 13 Aralık 2007, Ankara.

- Ar F., Karaosmanoğlu F., Koç A.A., Acaroğlu M., Sarısu F., Özsöyler Y., Bölük G, İşler A.&Aygün Ö.F., (2010). *Biyokayıtlar*. Ed.Figen Ar. Ankara: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yayınları.
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Ong, H. C., T., Mahlia, M. I., Masjuki, H. H., Badruddin, I. A., and Fayaz, H., (2013). Non-edible Vegetable Oils: A Critical Evaluation of Oil Extraction, Fatty Acid Compositions, Biodiesel Production, Characteristics, Engine Performance and Emissions Production, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 18, pp. 211–245.
- Atkinson C., Fitzgerald J., Hipps N., (2010). Potential Mechanisms for Achieving Agricultural Benefits From Biochar Application to Temperate Soils: A Review. *Plant Soil* 337: 1-18.
- Bantacut T., Hendra D., Nurwigha R., (2013). Mutu Biopellet Dari Campuran Arang Dan Sabut Cangkang Sawit, *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 23 (1):1-12.
- Başçetinçelik, A., Öztürk, H. H., Karaca, C., Kacıra, M., Ekinci, K., Kaya, D., Baban, A., (2005). Interim Report of Exploitation of Agricultural Residues in Turkey. LIFE 03 TCY/ TR /000061.
- Bayrak, F., (2014). Elektrik Üretiminde Kullanılan Linyitin Madencilik Aşamasına Ait Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 144, Ankara.
- Bengisu, G., (2014). Alternatif Yakıt Kaynağı Olarak Biyoetanol. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 27(2), 43- 52.
- Bergthaller, W., Hollmann, J., Johannis, P.K., (2007). "Starch", *Comprehensive Glycoscience*, Elsevier, Oxford, 579-612.
- Bhattacharya S.C., and R.M. Shrestha., (1990). Biocoal – Technology and Economics. In: *Hot and High Pressure Densification* pp14-29, RERIC, AIT Bangkok, Thailand.
- Biogas Renewable Energy., (2022). Retrieved February 17, 2021, from <https://www.biogas-renewable-energy.info/>.

- Biogas., (2022). Retrieved February 17, 2022, from <https://www.europeanbiogas.eu/biogas-a-necessary-solution-to-foster-eus-energy-transition/>.
- Birinci, E., (2018). Ahşap Malzeme Bilgisi, Kastamonu Üniversitesi
- Cahyono A. A., Amri I., Bahrudin., (2022). Upgrading Characteristics of Empty Fruit Bunch Biopellet with Addition of Bintaro Fruit as Co-firing, *Journal of the Bioprocess, Chemical, and Environmental Engineering Science* 1.
- Callejón-Ferrea AJ., Velázquez-Martín B., López-Martínez JA., Manzano-Agugliaro F., (2011). Greenhouse Crop Residues: Energy Potential and Models For The Prediction of Their Higher Heating Value. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15:948–955.
- Calderon, C., Colla, M., Jossart, J.M., Hemeleers, N., Cancian, G., Aveni, N., and Caferri, C., (2019). Bioenergy Europe Statistical Report 2019, European Bioenergy Outlook 2019/ Pellet.
- Can, H., (2017). Yenilenebilir Enerjinin Makroekonomik Etkileri: Türkiye Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İktisat Anabilim Dalı, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye.
- Canan, S., ve Ceyhan, V., (2017). Türkiye’de Biyokütle Fiyatındaki Değişimin Biyoetanol Maliyeti Üzerine Etkileri, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, c. 32, s. 1, ss. 16-22.
- Carone, M.T., Pantaleo, A., Pellerano, A., (2011). Influence of Process Parameters and Biomass Characteristics On The Durability of Pellets From The Pruning Residues of *Olea Europaea* L.. *Biomass Bioenergy* 35 (1), 402-410.
- Carvalho, L., Wopienka, E., Pointner, C., Lundgren, J., Kumar, V., Haslinger, W., (2013). Performance of a Pellet Boiler Fired With Agricultural Fuels, *Appl. Energy* 104, 286e296. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.058>

- Chau, J., Sowlati T., Sokhansanj S., Preto F., Melin S., Bi X.. (2009). Techno-Economic Analysis of Wood Biomass Boilers for The Greenhouse Industry. *Appl Energy*, 86:364–71.
- Chau J., Sowlati T., Sokhansanj S., Preto F., Melin S., Bi, X., (2009). Economic Sensitivity of Wood Biomass Utilization for Greenhouse Heating Application. *Appl Energy*, 86:616–21.
- Çatak E., (2019). Yumuşak ve Sert Odun Peletlerinden Torrefaksiyonla Biyokömür Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Çelik, B., (2011). Pellet Üretim Tesisinin Fizibilitesi: Bartın Örneği. Yüksek Lisans. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın Üniversitesi.
- Çolakoğlu, B., (2018). Tarımsal Atıkların Alternatif Kullanım Alanları Konusunda Üretici Eğilimleri. Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ: T.C. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dağdelen., (2015). Küresel Biyoyakıt Politikalarının AB ve Türkiye Açısından Değerlendirilmesi, AB Uzmanlık Tezi, Ankara.
- Dağtekin, M., Gürdil, G., A. K., (2021). Pelleting Pruning Residues of Mandarin for Bio-Energy. *MKU. Tar. Bil. Derg.* 26(1) : 75-81. DOI: 10.37908/mkutbd.785095.
- Demirbas, A., (2008). Biodiesel. Springer London, 111-119.
- Demirbaş, A., (2005). Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel From Biomass. *Energy Sources*, 27(4), 327-337.
- Demirbas, A., (2005). Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass, *Energy Sources*, Taylor & Francis Ltd, 327-337.
- De Paulo, A. A., Da Costa, R. S., Rahde, S. B., Vecchia, F. D., Seferin, M., and Dos Santos, C. A., (2016). Performance and Emission Evaluations In A Power Generator Fuelled with Brazilian Diesel and Additions of Waste Frying Oil Biodiesel, *Appl. Therm. Eng.*, vol. 98, pp. 288–297.
- Dok, M., (2014). Karadeniz Bölgesinin Tarımsal Atık Potansiyeli ve Bunlardan Pelet Yakıt Olarak Yararlanması. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı. Samsun, 28-29 Mayıs 2014, 211-222.

- Duranay, N., Yılmaz, M., (2018). Kısa Analiz Verileri Kullanılarak Biyokütlenin Üst Isı Değerinin Hesaplanması. *Academic Platform Journal of Engineering and Science* 6-2: 03-108.
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F., (2014). Renewable Energy Resources: Current Status, Future Prospects and Their Enabling Technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748–764. doi:10.1016/j.rser.2014.07.113
- Eriksson, G.L., Boman, C., Bergsten, U., Bergstöm, D., (2011). Fuel Characterization of Pellet Chips, *Forest Prod. J.* 61 (2):143–148.
- Erlich, C., Fransson, TH., (2011). Downdraft Gasification of Pellets Made of Wood, Palm-oil Residues Respective Bagasse: Experimental Study. *Appl Energy*, 88:899–908.
- Eryılmaz, T., (2014). Yozgat İli Şartlarında Yetiştirilen Aspir (*Carthamus tinctorius L.*) Dinçer Çeşidinden Üretilen Biyodizelin Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi*, *J. Agric. Fac. Gaziosmanpasa Univ.*, Vol. 31, No. 2014–1, pp. 63–63.
- Garcia, R., Gil, M.V., Rubiera, F., and Pevida, C., (2019). Pelletization of Wood and Alternative Residual Biomass Blends for Producing Industrial Quality Pellets, *Fuel*, 251, 739–753.,
- García, R., Pizarro, C., Lavín, AG., Bueno, JL., (2014). Spanish Biofuels Heating Value Estimation. Part I: Ultimate Analysis Data. *Fuel* 117:1130–1138.
- Garcia, R., Gil, M.V., Rubiera, F., Pevida, C., (2019). Pelletization of Wood and Alternative Residual Biomass Blends for Producing Industrial Quality Pellets. *Fuel* 251, 739–753.
- Given, P.H., Gronauer, D.C., Spackman, W., Lowell, H.L., Davis, A and Biawas, B., (1975). Dependence of Coal Liquefaction Behaviour on Coal Characteristics. 2. Role of Petrographic Composition: *Fuel*, 54, 40-49.

- Glaser, B., Wiedner, K., Seelig, S., (2014). Biochar Organic Fertilizers from Natural Resources as Substitute for Mineral Fertilizers, *Agron. Sustain. Dev.* Vol. 35, pp. 667–678.
- Gizlenci, Ş., Acar, M., (2008). Enerji Bitkileri Tarımı ve Biyoyakıtlar (Biyomotorin, Biyoetanol, Biyomas), Enerji Bitkileri ve Biyoyakıtlar Sektörel Raporu, T.C.Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Samsun.
- Guasch-Jané, M.R., Andrés-Lacueva, C., Jáuregui, O., Lamuela-Raventós, R.M., (2006). First Evidence of White Wine in Ancient Egypt from Tutankhamun's Tomb, *Journal of Archaeological Science*, 33, 1075-1080.
- Güereña, D., Lehmann, J., Hanley, K., Enders, A., Hyland, C., Riha, S., (2013). Nitrogen Dynamics Following Field Application of Biochar In A Temperate North American Maize-based Production System. *Plant and Soil* 365(1-2): 239-254.
- Güllü, M., Bayraç, H.N., (2017). Biyoyakıt Üretimi, Karbon Emisyonu ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Amerika, Brezilya ve Almanya Örnekleri, *Akademik Bakış Dergisi* Sayı: 64.
- Gürdil G. A. K., Baz Y. Ö., Demirel Ç., Demirel B., (2015). Yakıt Peleti ve Briketi İçin Güncellenmiş Avrupa Birliği Standartları ve İlgili Parametreler, *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 29, Sayı 2, 147-156.
- Harrison, M.A., Moselio, S., (2009). Beer/Brewing, *Encyclopedia of Microbiology*, Academic Press, Oxford, 23-33.
- Howell, S., (1997). U.S. Biodiesel Standards An Update of Current Activities, *SAE Paper* 971687.
- Horuz, A., ve ark., (2015). *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 3 (2) 69 – 81
- IEA, (2020). *Key World Energy Statistics 2020*, August 2020.

- IEA, (2021). Biyoyakıt ve Biyokütle Kaynaklarından Elektrik Üretimi, Türkiye 2010 2020, Uluslararası Enerji Ajansı. Retrieved November 23, from <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>
- IEA İstatistik Verileri, (2020). <https://www.iea.org/data-and-statistics>, Erişim tarihi: 03.03.2020.
- Işık, Y., (2019). Farklı Biyokütle Numunelerinden Torrefaksiyon İşlemi ile Kaliteli Pelet Yakıt Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Işığgür, A., (1992). Türkiye Kökenli Aspir Tohum Yağlarının Transesterifikasyonu ve Dizel Yakıt Alternatifi Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ISO (International Sugar Organization), (2014). Ethanol Year Book 2014. London.
- İllez, B., (2020). Türkiye'nin Enerji Görünümü Biyokütle Enerjisi, 317-346.
- İlter, E., ve Ok, K., (2007). Ormancılık ve Orman Endüstrisinde Pazarlama İlkeleri ve Yönetimi. Geliştirilmiş 2. Baskı. Form Ofset Matbaacılık. 978-975-96967-4-0. Ankara.
- Jarvis, M.C., Brian, T., (2003). Primary Products Cellulose, Encyclopedia of Applied Plant Sciences, Elsevier, Oxford, 865- 871.
- Kaliyan, N., Morey, R.V., (2010). Natural Binders and Solid Bridge Type Bindinn Mechanisms in Briquettes and Pellets Made From Corn Stover and Switchgrass. Bioresour. Technol. 101 (3), 1082-1090.
- Karadağ, A., (2018). Bartın Üniversitesi Fen Fakültesi Biyokütle, Biyoyakıt Üretimi, Sınıflandırılması.
- Kammann, C., Ippolito, J., Hagemann, N., Borchard, N., Cayuela, ML., Estavillo, JM., & Rasse, D., (2017). Biochar As A Tool to Reduce The Agricultural Greenhouse-gas burden– knowns, Unknowns and Future Research Needs. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 25(2), 114-139.

- Karawandy, J., (2007). Pellet Production From Sawmill Residue : A Saskatchewan Perspective. Forest Development Fund Project Final Report 2006/07, For/ntek Canada Corporation.
- Kaplan, E., (2007). Türkiye’de Orman Ürünleri Talebi ile Arz Kaynaklarının Değerlendirilmesi Ve Endüstriyel Plantasyonların Yeri. 150th Anniversary of Forestry Education in Turkey. Bottlenecks, Solutions, and Priorities in the Context of Functions of Forest Resources / 17-19 October 2007, İstanbul.
- Kapluhan, Y.E., (2014). A Research In The Field of Energy Geography: Usage of Biomass Energy in the World and Turkey”, Marmara Coğrafya Dergisi, vol. 30, pp. 97-125.
- Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çabuk, Y., Kurt, R., (2011). Biyokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi. Cilt 13 Sayı: 19, 63-75.
- Kazaz, O., (2018). Biomass Energy Potential of Turkey, MSc. Thesis, Institute of Natural and Applied Sciences, Çukurova University, Adana.
- Kılıç, Ç.F., (2011). Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye’deki Yeri. Mühendis ve Makine 52(617): 94- 106.
- Koç, M., (2011). Biyodizel Üretimine Uygun Türkiye’de Yetişen ve Yetişebilecek Bitkilerin ve Biyodizel Teknolojilerinin Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Korkmaz, AA., (2022). Farklı Linyitlerin Kısa ve Elementel Analiz Verilerine Dayanarak Üst Isıl Değerlerinin Hesaplanması. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10 (1): 49-60.
- Kumar, M., & Gayen, K., (2011). Developments in Biobutanol Production: New Insights. Applied Energy, 88(6), 1999-2012.
- Kurtuluş, E., (2004). Yüksek Pirininin Bir Yakıt Olarak Kullanımı ve Eldesi. Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.

- Küsek, G., Güngör, C., Öztürk, H.H., ve Akdemir, Ş., (2015). Tarımsal Artıklardan Biyopelet Üretimi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 2015, Cilt 29, Sayı 2, 137-145 (Journal of Agricultural Faculty of Uludag University. (Erişim tarihi: 08.06.2021).
- Larsson, SH., Lestander, TA., Crompton, D., Melin, S., Sokhansanj, S., (2012). Temperature Patterns in Large Scale Wood Pellet Silo Storage. *Appl Energy*, 92:322–7.
- Leegood, R.C., William, J.L., Lane, M.D., (2004). Photosynthesis, *Encyclopedia of Biological Chemistry*, Elsevier, New York, 330-335.
- Lei, O., Zhang, R., (2013). Effects of Biochars Derived from Different Feedstocks and Pyrolysis Temperatures on Soil Physical and Hydraulic Properties, *Journal of Soils and Sediments*, Vol. 13(9), pp. 1561–1572.
- Lehtikangas, P., (2000). Storage on Pelletised Sawdust, Logging Residues and Bark. *Biomass and Bioenergy*, 19, 287-293.
- Lehtikangas, P., (2001). Quality Properties of Pelletised Sawdust, Logging Residues and Bark. *Biomass Bioenergy*, 20(5): 351-360, Elsevier Ltd., Oxford, UK.
- Lehmann, J., Da Silva, Jr. JP., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., Glaser, B., (2003). Nutrient Availability and Leaching In An Archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon Basin: Fertilizer, Manure and Charcoal Amendments, *Plant and Soil* 249: 343–357.
- Lehmann, J., Joseph, S., (2009). *Biochar Environmental Management*, ISBN: 978-1-84407-658-1, Earthscan Yayıncılık, 2. Bölüm, sayfa 18.
- Liu, R., Li, J., Shen, F., (2008). Refining bioethanol from stalk juice of sweet sorghum by immobilized yeast fermentation, *Renewable Energy*, 33, 1130-1135.
- Lu, G., Kim, H., Yuan, J., Naruse, I., and Ohtake, K., (1998). Experimental Study On Self-desulfurization Characteristics of Biobriquette In Combustion. *Energy and Fuels* 12 (4): 689-696.

- Luo, L., Gu, J.D., (2016). Alteration of Extracellular Enzyme Activity and Microbial Abundance by Biochar Addition: Implication for Carbon Sequestration In Subtropical Mangrove Sediment. *Journal of Environmental Management* 182: 29-36.
- Madari, B.E., Silva, M.A., Carvalho, M.T., Maia, A.H., Petter, F.A., Santos, J.L., & Zeviani, W.M., (2017). Properties of A Sandy Clay Loam Haplic Ferralsol and Soybean Grain Yield In A Five-year Field Trial As Affected By Biochar Amendment. *Geoderma* 305: 100-112.
- Magellia, F., Boucher, K., Bib, H.T., Melin, S., Bonolia, A., (2009). An Environmental Impact Assessment of Exported Wood Pellets From Canada to Europe, *Biomass and Bioenergy* 33, 434-441.
- Maraver, A.G., and Carpio, M., (2015). Chapter 4: Biomass Pelletization Process, *Transactions on State of the Art in Science and Engineering*. Wit Press. UK, 85, 53-66.
- Mcbeath, A. V., Wurster, C. M. Bird, M. I., (2015). ScienceDirect Influence of Feedstock Properties and Pyrolysis Conditions on Biochar Carbon Stability as Determined by Hydrogen Pyrolysis" *Biomass and Bioenergy*, Vol. 73, pp.155–173.
- Melero, J. A., Bautista, L. F., Morales, G., Iglesias, J., Sanchez-Vazquez, R., (2015). Acidcatalyzed Production of Biodiesel Over Arenesulfonic SBA-15: Insights Into The Role of Water In The Reaction Network, *Renew. Energy*, vol. 75, pp. 425–432.
- Methanol., (2021). Retrieved November 24, 2021, from <https://www.methanol.org/about-methanol/>
- Meyer, S., Glaser, B., Quicker, P., (2011). Technical, Economical and Climate Related Aspects of Biochar Production Technologies: A Literature Review, *Environmental Science & Technology*, Vol. 45, pp. 9473–9483.
- Miller, B. G., Tillman, D. A., (2008). *Combustion Engineering Issues for Solid Fuel Systems*. Elsevier, New York. 5-196.

- Miranda T., Montero I., Sepúlveda F. J., Arranz J. I., Rojas C.V., Nogales S., (2015). A Review of Pellets from Different Sources, *Materials*, 8, 1413-1427; doi:10.3390/ma8041413
- Mizuta, A., (2010). Views on Pellets from a Global Company. *Bioenergy International*, Number: 44, 3, 2010, p.11.
- Muharrem Ersin., (2006). Türkiye'de Linyit Kömürlerinin Enerji Kaynağı Olarak Önemi, E Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Türkiye.
- Munawar S. S., Subiyanto B., (2014). Characterization of Biomass Pellet Made from Solid Waste Oil Palm Industry, *Procedia Environmental Sciences* 20, 336 – 341.
- Mussatto, S. I., Dragone, G., Guimarães, P. M., Silva, J. P. A., Carneiro, L. M., Roberto, I. C., & Teixeira, J. A., (2010). Technological Trends, Global Market, and Challenges of Bioethanol Production. *Biotechnology Advances*, 28(6), 817-830.
- Ng, K. S., & Sadhukhan, J., (2011). Process Integration and Economic Analysis of Bio oil Platform for The Production of Methanol and Combined Heat and Power. *Biomass and Bioenergy*, 35(3), 1153-1169.
- Nhuchhen, D. R., Basu, P., and Acharya, B., (2014), A Comprehensive Review on Biomass Torrefaction, *Int. J. Renewable Energy Biofuels*, P. 506376.
- Nielsen, NPK., Holm, JK., Felby, C., (2009). Effect of Fiber Orientation On Compression and Frictional Properties of Sawdust Particles In Fuel Pellet Production. *Energy Fuel*, 23:3211–6.
- Nigam, P. S., & Singh, A., (2011). Production of Liquid Biofuels From Renewable Resources. *Progress in Energy and Combustion Science*, 37(1), 52-68.
- OGM, (2008). Üretim Pazarlama Faaliyetleri 2008 Yılı Değerlendirmesi. www.ogm.gov.tr
- Özgündüz, H.İ., (2020). Farklı Enerji Bitkileri ve Organik Atıklar Kullanılarak Elde Edilen Enerji Peletlerinde Karakteristik Özelliklerin İncelenmesi. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Öztürk, H.H., and Başçetinçelik, A., (2006). Energy Exploitation of Agricultural Biomass Potential in Turkey, *Energy Exploration and Exploitation*, 24(4-5): 313-330.
- Parikha, J., Channiwalab, S.A., Ghosal, G.K., (2005). A Correlation for Calculating HHV from Proximate Analysis of Solid Fuels. *Fuel* 84:487-494.
- Pradhan P., Arora A., Mahajani S. M., (2018). Pilot Scale Evaluation of Fuel Pellets Production From Garden Waste Biomass, *Energy for Sustainable Development* 43, 1–14.
- Pradhan P., Arora A., Mahajani S. M., Arora A., (2018). Production and Utilization of Fuel Pellets From Biomass: A review, *Fuel Processing Technology* 181, 215–232
- Reimer, L., (1992). Proc. Northern Crops Institute Feed Mill Management and Feed Manufacturing Technol. Short Course, P.7. Colifornia Pellet Mill Co. Crawfordsville, IN.
- Rodionova, M. V., Poudyal, R. S., Tiwari, I., Voloshin, R. A., Zharmukhamedov, S. K., Nam, H. G., & Allakhverdiev, S. I., (2017). Biofuel Production: Challenges and Opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(12), 8450- 8461.
- Sabancı, A., Ören, M.N., Yaşar, B., Öztürk, H.H., Atal, M., (2010). Türkiye’de Biyodizel ve Biyoetanol Üretimini Tarım Sektörü Açısından Değerlendirilmesi. *Ziraat Mühendisleri Odası 7. Teknik Kongresi, Ankara*. 2:933-953.
- Saraçoğlu, N., Gündüz, G. 2009. Wood Pellets – Tomorrow’s Fuel for Europe. *Energy Sources, Part A*, 31:1708-1718.
- Saraçoğlu, N., Çabuk, Y., Kurt, R., Karayılmazlar, S., (2011). Biyokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, Cilt: 13, Sayı: 19, 63- 75 ISSN: 1302-0943 EISSN: 1308-5875.
- Saracoğlu, S., (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Biyokütle Üretimini Dünyada ve 1298 Türkiye’de Durumu, *Fiscaoeconomia*, c. 1, s. 3, ss. 126–155.
- Schafer, H.N.S., (1977). Organically Bound Iron In Brown Coals: *Fuel*, 56, 45-46.

- Shafiee, S., Topal, E., (2009). When Will Fossil Fuel Reserves Be Diminished? *Energy Policy* 37:1:181-189.
- Shao, J., Cheng, W., Zhu, Y., Yang, W., Fan, J., Liu, H., Yang, H., and Chen, H., (2019). Effects of Combined Torrefaction and Pelletization on Particulate Matter Emission from Biomass Pellet Combustion” *Energy Fuel* 33, 8777-8785.
- S. Haghghat Shishvan., (2018). *Biyokütle Peletleme Prosesinin Karakterizasyonu. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Ege Üniversitesi, İzmir.*
- Sokhansanj, S., Mani X.Bi, S., Zaini, P., and Tabil, L., (2005)..*Binderless Pelletization of Biomass. ASAE Annual International Meeting.*
- Silva, M. A. A., Correa, R. A., Tavares, M. G. de O., and Antoniosi Filho, N. R., (2015). A new spectrophotometric method for determination of biodiesel content in biodiesel/diesel blends”, *Fuel*, vol. 143, pp. 16–20.
- Sims, R. E., Mabee, W., Saddler, J. N., & Taylor, M. (2010). An Overview of Second Generation Biofuel Technologies. *Bioresource Technology*, 101(6), 1570-1580.
- Singh, R.M., M. Kamide and M. Toshihiko., (1996). Some Chemical and Physico mechanical Properties of Nepalese Coal Tested for Biobriquettes. *Journal of Nepal Chemical Society* 15: 12-18.
- Singh, R.M., Kamide, M., and Toshihiko, M., (1997). Some Chemical Poperties of Nepalese Biomass and Biobriquettes. *Journal of Nepal Chemical Society* 16:5-9.
- Singh, R.M., Toshihiko, M., Kamide, M., Taniguchi, K., and Deguchi, K., (2001). Biobriquettes-An alternative Fuel for Domestic and Industrial Applications. *Nepal Journal of Science and Technology* 3:105-114.
- Song, H., Starfelt, F., Daianova, L., Yan, JY., (2012). Influence of Drying Process On The Biomass-based Polygeneration System of Bioethanol, Power and Heat. *Appl Energy*, 90:32–7.

- Stelte, W., Sanadi, A.R., Shang, L., Holm, J.K., Ahrenfeldt, J., and Henriksen, U.B., (2012). Recent Development In Bipmass Pelletization- A Review, *BioResources*, 7, 3, 4451-4490.
- Sungur, B., (2019). Biyokütle/sıvı Yakıt ve Biyokütle/kömür Karışımlarından Üretilen Peletlerin Kazanda Yakılmasının Deneysel ve Sayısal İncelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Sustainable Biofuels: Prospects and Challenges, The Royal Society. Policy Document 01/08, ISBN 978 0 85403 662 2. Reproduced With Permission of The Royal Society.
- Şenol, H., Elibol E.A., Açıklık Ü., & Şenol M., (2017). Türkiye'de Biyogaz Üretimi İçin Başlıca Biyokütle Kaynakları, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2): 81-92.
- Tabil, L.G., and Sokhansanj, S., (1996). Pocess conditions affecting the physical quality of alfalfa pellets. *Applied Engineering in Agriculture*, 12: 345-350.
- Telmo, C., Lousada, J., (2011). Heating Values of Wood Pellets From Different Species, *Biomass and Bioenergy* 35:2634-2639.
- Tillman, D. A., (1991). *The Combustion of Solid Fuels and Wastes*. Elsevier, San Diego.
- Topaloğlu, B., (2009). Yakma Kaynaklı Hava Kirlenmesi ve Kontrolü. Ondokuz Mayıs Üniversitesi. Basımevi. Samsun.
- Tripathi, M., Sahu, J. N., Ganesan, P., (2016). Effect of Process Parameters on Production of Biochar from Biomass Waste Through Pyrolysis : A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 55, pp. 467–481.
- Tüplek, A., (2011). Odun Talaşı ve Tozundan Pelet Biyoyakıt Üretilmesi ve Yanma Analizi. Yüksek Lisans. Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Uasuf, A., Becker, G., (2011). Wood Pellets Production Costs and Energy Consumption Under Different Framework Conditions In Northeast Argentina. *Biomass and Bioenergy* 35,1357-1366.
- Underhaug, A., Lund, T.J., Kleive, K., (1983). Wood Protection-The Interaction Between Substrate and Influence on Durability, *Journal Oil and Colour Chemists Assoc*, 66, No.11, 345.

- Üçgül, İ., Akgül, G., (2010). Biyokütle Teknolojisi. Yekarum Dergi 1(1), 3-11. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Vassilev, S. V., Vassileva, C. G., & Vassilev, V. S. (2015). Advantages and Disadvantages of Composition and Properties of Biomass In Comparison With Coal: An Overview. *Fuel*, 158, 330-350.
- URL-15 (2011) [http://www.tcdd.gov.tr/upload/Files/ContentFiles/2010/basin-
kiti/harita.jpg](http://www.tcdd.gov.tr/upload/Files/ContentFiles/2010/basin-
kiti/harita.jpg) 03.01.2011.
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., & Vassileva, C. G. (2013). An Overview of The Composition and Application of Biomass Ash.: Part 2. Potential Utilisation, Technological and Ecological Advantages and Challenges. *Fuel*, 105, 19-39.
- Verma, VK., Bram, S., Delattin, F., Laha, P., Vandendael, I., Hubin, A., et al. (2012). Agro-Pellets For Domestic Heating Boilers: Standard Laboratory and Real Life Performance. *Appl Energy*, 90:17–23.
- Verma, VK., Bram, S., Vandendael, I., Laha, P., Hubin, A., Ruyck, JD., (2011). Residential Pellet Boilers In Belgium: Standard Laboratory and Real Life Performance With Respect to European Standard and Quality Labels. *Appl Energy*, 88:2628–34.
- Villadsen, S. N., Fosbøl, P. L., Angelidaki, I., Woodley, J. M., Nielsen, L. P., & Møller, P., (2019). The Potential of Biogas; The Solution to Energy Storage. *ChemSusChem*, 12(10), 2147-2153.
- Weiland, P., (2010). Biogas Production: Current State and Perspectives, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85: 849-860.
- WEO (World Bioenergy Association), (2019). Global Bioenergy Statistics.
- Wood Pellet Production Costs Under Austrian and in Comparison to Swedish Framework Conditions. *Biomass and Bioenergy*, 27, 671- 693.
- World Energy Council, (2016). World Energy Resources: 2016 survey. London: World Energy Council.

- Yan, J., Lin, T., (2009). Biofuels in Asia. *Appl Energy*, 86:S1–S10.
- Yang, Y., Brammer, J. G., Mahmood, A. S. N., Hornung, A., (2014). Intermediate Pyrolysis of Biomass Energy Pellets for Producing Sustainable Liquid, Gaseous and Solid Fuels", *Bioresource Technology*, Vol. 169, pp. 794–799.
- Yıldız, A., (2009). Alternatif Yakıt-Enerji Kaynaklarının Ulaştırma Sistemindeki Yeri, Gelecekteki Durum, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Yılmaz, H., (2014). Bazı Tarımsal Artıkların Peletlenmesi ve Pelet Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Yığıtoğlu, M., İnal, M., ve Gökgöz, M., (2012). Alternatif Bir Enerji Kaynağı Olarak Biyoetanol. *Kırıkkale Üniversitesi Bilimde Gelişmeler Dergisi*, 1: 11-21.
- Yin, CY., (2011). Prediction of Higher Heating Values of Biomass From Proximate and Ultimate Analyses. *Fuel* 90:1128–1132
- Yusuf, N. N. A. N., Kamarudin, S. K., and Yaakub, Z., (2011). Overview On The Current Trends In Biodiesel Production, Energy Conversion and Management, vol. 52, no. 7. pp. 2741– 2751.
- Wang, C., Yan, J., (2005). Feasibility Analysis of Wood Pellets Production and Utilization In China As a Substitute For Coal. *International Journal Of Green Energy*, 2: 91–1
- Xie, T., Reddy, K. R., Wang, C., Yargicoglu, E., Spokas, K., (2014). Characteristics and Applications of Biochar for Environmental Remediation: A Review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, pp.. 45, 939–969.
- WBA (World Bioenergy Association), (2017). Global Bioenergy Statistics 2017, (www.worldenergy.org, Erişim Tarihi: 09.05.2023).
- WEO (World Bioenergy Association), (2019). Global Bioenergy Statistics 2019.

Türkiye İstatistik Kurumu. Online Available:

<http://www.tuik.gov.tr/Start.do;jsessionid=zh1vbK6LBGqvGHshkQCqy8YDT8WCJy JgrBGCqfBQ3J I9619CLcST!-2088417393>.

<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kati-Yakitlar-Ocak-2021-37444>

https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/0f88bfbf93f5078_ek.pdf

<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji->

elektrik#:~:text=2021%20y%C4%B1%C4%B1nda%20elektrik%20%C3%BCretimimizin%2C%20%30,%C3%BC%20di%C4%9Fer%20kaynaklardan%20elde%20edilmi%C5%9Ftir

<https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/img/komur.pdf>

<https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/img/komur.pdf>

https://arac.kastamonu.edu.tr/images/2018/bolumler/ormancilik-ve-orman-urunleri/Duyurular/ORU115_ahsap_malzeme_bilgisi_I_ders_notu.pdf

<https://www.stb.org.tr/Dosyalar/Arastirmalar/pelletbiomass.pdf>, 16.03.2020.

http://www.ybiofuels.org/bio_fuels/history_biofuels.html (05.03.2006).

www.albiyobir.org.tr/trde_b3.htm

http://www.eie.gov.tr/biyodizel/bd_fiyat.html

<http://www.biyomotorin-biodiesel.com/>

http://www.biyogazder.org/biyogaz_enerjisi.htm

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : EŞREF TOPKOÇ

Öğrenim Durumu : Yüksek Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Fizik Mühendisliği (İngilizce)	Gaziantep Üniversitesi	2015
Lisans	İşletme	Anadolu Üniversitesi	2015
Ön Lisans	Dış Ticaret	Anadolu Üniversitesi	2013

Görevler :

Görev / Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
İntern Mühendis	Solartürk Enerji A.Ş.	2015
Günlük Tüketim Ürünleri Uzmanı	ACME Markets Inc.	2015
Saha Mühendisi	TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi Tetra A.Ş.	2017-2018
Ar-Ge Uzmanı	Toros Tarım AR-GE Merkezi	2019-2022
İnovasyon Lideri	Toros Tarım AR-GE Merkezi	2019-2022
AR-GE, İnovasyon Teşvik Kıdemli Uzmanı	Emsa Jeneratör	2022- ...

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. Topkoç, E. & Yıldız, Z. (2021). Alternatif Bir Katı Yakıt Olarak Biyopeletler, Akdeniz Zirvesi 5.Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 7-8 Ağustos 2021, UBAK.
2. Topkoç, E. & Yıldız, Z. (2021). Tarımsal Atıkların Katı Yakıt Olarak Değerlendirilmesi, Akdeniz Zirvesi 5.Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 7-8 Ağustos 2021, UBAK.
3. Yıldız, Z. & Topkoç, E. (2023). Biyopeletlerin Kısa Analiz ve Elementel Analiz Sonuçlarına Göre Üst Isıl Değerlerinin Hesaplaması. Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 24 (1), 37-45. DOI: 10.17474/artvinofd.1186672.
4. Yıldız, Z. & Topkoç, E. (2023). Tarımsal Atıklardan Elde Edilen Biyopeletlerin Yakıt Özelliklerinin Uluslararası Standartlarla Karşılaştırılması, Artvin Çoruh Orman Fakültesi Dergisi (Baskıda)