

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA
BİLİM DALI



TRABZON HURMASI BUDAMA ATIKLARININ BRİKET FORMUNDA
KATI BİYİYAKIT OLARAK DEĞERLENDİRİLEBİLME
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Yüksek Lisans Tezi

Muhammed GÜNEŞ

Danışman

Doç. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL

Yüksek lisans Tez Çalışması Ondokuz Mayıs Üniversitesi
PYO.ZRT.1904.18.017 nolu proje ile BAP tarafından desteklenmiştir.

SAMSUN
2021

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans/doktora/sanatta yeterlik tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

İmza

20 / 01 / 2021

Muhammed GÜNEŞ

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : Trabzon Hurması Budama Atıklarının Briket Formunda Katı Biyoyakıt Olarak Değerlendirilme Olanaklarının Araştırılması

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 11.12.2020 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 9

Tek kaynak oranı : % 1 çıkmıştır.

İmza

11 / 12 / 2020

Gürkan Alp Kağan GÜRDİL
Danışman Adı SOYADI

ÖZET

TRABZON HURMASI BUDAMA ATIKLARININ BRİKET FORMUNDA KATI BİYOYAKIT OLARAK DEĞERLENDİRİLEBİLME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Muhammed GÜNEŞ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Yüksek Lisans, Ocak/2021

Danışman: Doç.Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL

Ülkemiz enerji ihtiyacı bakımından ele alındığında üretim ve tüketim değerleri incelendiğinde ihtiyacının yaklaşık olarak %80'ini dışarıdan ithal etmektedir. Enerji bakımından dışarıya bağlı olunması ülke ekonomisinin gelişmesi ve büyümesinin önünde büyük bir engel teşkil etmektedir. Türkiye fosil kaynaklar bakımından fakir olmasına rağmen yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin sayılabilecek konumdadır. Türkiyede tarımsal faaliyetler sonucu çok büyük miktarlarda atık ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, Trabzon hurması meyve ağacının budanması sonucu açığa çıkan atıklar briket üretimi için kullanılmıştır. Çalışmada; 2 farklı nem (%12-15) içeriğinde, 3 farklı öğütme (3, 5 ve 8 mm) inceliğinde ve 4 farklı sıkıştırma (80-120-160-200 MPa) basıncında briketler elde edilmiştir. Elde edilen atıkların, alt ısı değeri 18.68 MJ.kg^{-1} ve kül içeriği ise %2.36 olarak belirlenmiştir. Mekanik dayanıklılık olarak, Tumbler testi sonucunda en yüksek dayanıklılık %12 nem, 5 mm öğütme inceliği ve 200 MPa sıkıştırma basıncında %89.17 ile elde edilirken en düşük dayanım %15 nem, 3 mm öğütme inceliği ve 80 MPa sıkıştırma basıncında tespit edilmiştir. Uygulanan Shatter testi sonucunda ise en yüksek dayanıklılık %15 nem, 3 mm parçacık boyutu ve 120 MPa sıkıştırma basıncında elde edilirken en düşük dayanıklılık %12 nem, 5 mm öğütme inceliği ve 120 MPa sıkıştırma basıncında elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Briket, Enerji, Tarımsal Atık, Trabzon Hurması Budama Atığı.

ABSTRACT

INVESTIGATING UTILIZATION POSSIBILITIES OF PERSIMMON PRUNING RESIDUES FOR SOLID BIOFUEL IN THE FORM OF BRIQUETTES

Muhammed GÜNEŞ

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Agriculture Machinery and Technologies Engineering

Master, January/2021

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL

Turkey imports aprox. 80 % of it's energy needs from abroad when considering the production and consumption values. External dependency in terms of energy poses a major obstacle to the development and growth of economy. Turkey is situated in rich renewable energy sources but poor in fossil fuels. A huge quantity of waste is produced out of big agricultural production in Turkey. In this study, the wastes generated by pruning the persimmon fruit tree were used for briquette production. In the study; briquettes were produced with 2 different moisture (12-15%) content, 3 different grinding (3, 5 and 8 mm) fineness and 4 different compression (80-120-160 200 MPa) pressures. The lower calorific value and the ash content were recorded as 18.68 MJ.kg⁻¹ and 2.36%, respectively. As a result of the Tumbler test, the highest strength was obtained with 89.17% at 12% moisture, 5 mm grinding fineness and 200 MPa compression pressure, while the lowest strength was determined at 15% moisture, 3 mm grinding thickness and 80 MPa compression pressure. Shatter test were as follows; the highest strength was obtained at 15% moisture, 3 mm particle size and 120 MPa compression pressure, while the lowest strength was obtained at 12% moisture, 5 mm grinding fineness and 120 MPa compression pressure.

Keywords: Briquette, Energy, Agricultural Waste, Persimmon Pruning Waste.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Akademik eğitim sürecimin bir üst noktası olan yüksek lisans tez çalışmam boyunca bu çalışmanın konu seçiminde beni cesaretlendiren ve çalışmanın her aşamasında yardımcı olan, görüşlerini ve sabrını esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL'e teşekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlere getiren ve hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan babama, anneme ve kardeşlerime teşekkür ederim.

Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Enerji Tarımı Bölümü hocalarıma katkılarından dolayı teşekkürü kendime bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteklerini esirgemeyen Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği bölümü öğretim üyelerine ve görevli personellerine teşekkür ederim.

Adı SOYADI

Muhammed GÜNEŞ

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	İ
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	İ
ÖZET	İİ
ABSTRACT	İİİ
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	İV
İÇİNDEKİLER	V
SİMGE VE KISALTMALAR	Vİİ
ŞEKİLLER DİZİNİ	İX
TABLolar DİZİNİ	X
1. GİRİŞ	1
1.1. Dünyada Enerji Üretimi ve Tüketim Durumu.....	2
1.2. Enerji Kaynakları.....	3
1.2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	4
1.2.2. Biyokütle Enerjisi	8
1.3.1. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji ve Biyokütle Potansiyeli.....	14
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ	22
3. MATERYAL VE METOT	29
3.1. Materyal.....	29
3.1.1. Kullanılan Trabzon Hurması Budama Atıkları ve Özellikleri.....	29
3.1.2. Öğütme İşlemi.....	30
3.1.3. Briketleme Makinesinin Özellikleri.....	31
3.1.4. Denemelerde Kullanılan Diğer Alet ve Ekipmanlar.....	33
3.2. Metot.....	37
3.2.1. Trabzon Hurması Budama Atıklarının Briketlenmesi	37
3.2.2. Çap ve Uzunluk Ölçümü.....	39
3.2.3. Nem İçeriği	39
3.2.4. Yoğunluk (Hacim Ağırlığı).....	40
3.2.5. Kırılma Direnci (Shatter Index)	41
3.2.6. Mekanik Dayanıklılık Direnci (Tumbler Index).....	42
3.2.7. Briket Sertlik Direncinin Belirlenmesi	43
3.2.8. Kül İçeriğinin Belirlenmesi.....	43
3.2.9. Briketlerin Isıl Değerinin Belirlenmesi.....	43
3.2.10. Baca Gazı Emisyon Değerlerinin Belirlenmesi	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	45

4.1. Trabzon Hurması Budama Atıkları Briket Özellikleri.....	45
4.2. Trabzon Hurması Budama Atıklarının Briketlenmesi.....	46
4.3. Briket Yoğunluğu	47
4.4. Mekanik Dayanıklılık Testi (Tumbler Index)	48
4.5. Kırılma Direnci (Shatter İndex).....	49
4.6. Sertlik Direnci	50
4.7. Briketlere Ait Kül İçeriği ve Isıl Değerleri.....	52
4.8. Briketlerin Baca Gazı Emisyon Değerleri.....	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	54
KAYNAKLAR.....	57
ÖZ GEÇMİŞ.....	61

SİMGE VE KISALTMALAR

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ASTM	American Society for Testing and Materials
BEPA	Biyokütle enerjisi potansiyeli atlası
BP	British petrol
BTEP	Bin ton eşdeğer petrol
BTU	British Thermal Unit
cal	Kalori
CHP	Kombine ısı ve güç
cm	Santimetre
cm ³	Santimetreküp
CO ₂	Karbondioksit
CO	Karbonmonoksit
CRA	Centre de Recherches Agronomiques
°C	Santigrat Derece
d/d	Devir/Dakika
DAY	Dolaşımli akışkan yatak sistemi
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EJ	Exajoul
FAO	Food and Agricultural Organization
GEKA	Güney Ege Kalkınma Ajansı
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası
GTEP	Giga ton eşdeğer petrol
g	Gram
h	Saat
HES	Hidroelektrik Santraller
Hz	Hertz
IEA	International Energy Agency
IKHKKY	Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
IRENA	International Renewable Energy Agency
KAY	Hava kabarcıklı akışkan yatak sistemi
kg	Kilogram
KTAE	Karadeniz Tarımsal Araştırma Merkezi
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattsaat
LPG	Svılaştırılmış petrol gazı
M	Nem içeriği
mm	Milimetre
m ³	Metreküp
MPa	Megapascal
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MTEP	Milyon ton eşdeğer petrol
N	Newton
NO	Azot oksit

P	Sıkıştırma basıncı
RES	Rüzgâr enerjisi santrali
REN21	Renewable Energy Policy Network for 21st Century
REPA	Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
s	Saniye
SO ₂	Kükürt Dioksit
TEB	Ton eşdeğer petrol
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TMMOB	Türkiye Makine Mühendisleri Odası Birliği
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TUİK	Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	3
Şekil 1.2. Küresel çapta 2019 yılı için enerji kullanımının kaynaklara göre dağılımı....	5
Şekil 1.3. Dünya genelinde 2019 yılında üretilen elektriğin kaynaklara göre dağılım.6	
Şekil 1.4. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin yıllara göre değişimi	6
Şekil 1.5. Biyokütlenin oluşum ve tüketim süreçleri	9
Şekil 1.6. Biyokütle enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	10
Şekil 1.7. Türkiye kurulu enerji gücünün yıllara göre değişimi.....	12
Şekil 1.8. 2019 yılı birincil enerji kaynakları bakımından elektrik üretimi	14
Şekil 1.9. Dünyada ülkeler bazında jeotermal enerji potansiyeli.....	15
Şekil 1.10. Türkiye jeotermal kaynaklar ve volkanik alanlar haritası.....	16
Şekil 1.11. Türkiye rüzgâr güç yoğunluğu haritası.....	17
Şekil 1.12. Türkiye rüzgâr hızı haritası.....	17
Şekil 1.13. Türkiye güneş enerji atlası.....	18
Şekil 1.14. Türkiye'deki ışınım şiddetleri, güneşlenme süresi ve PV çeşitlerine göre üretilebilecek enerji miktarları	18
Şekil 3.1. Budama sonrası bazı atık resimleri.....	29
Şekil 3.2. Trabzon hurması budama atıkları	30
Şekil 3.3. Trabzon hurması budama atıklarının farklı öğütülme incelikleri için kullanılan çekiçli değirmen	31
Şekil 3.4. Trabzon hurması budama atıklarının öğütülmesi.....	31
Şekil 3.5. Hidrolik tip briketleme makinesi	32
Şekil 3.6. Hidrolik tip briketleme makinesinin ana parça ve elemanları	33
Şekil 3.7. Atıkların briketlenmesi için kullanılan kalıp	33
Şekil 3.8. Mekanik dayanıklılık test düzeneği	34
Şekil 3.9. Basınç dayanım test cihazı.....	34
Şekil 3.10. Baca gazı ölçüm cihazı ve parçaları.....	35
Şekil 3.11. Briketlerin yakılması için kullanılan şömine tipi soba.....	36
Şekil 3.12. Kalorimetre cihazı.....	36
Şekil 3.13. Kullanılan diğer cihaz ve ekipmanlar	37
Şekil 3.14. Trabzon Hurması budama atıklarının öğütülmesi.....	38
Şekil 3.15. Trabzon Hurması budama atıklardan üretilen briketler	38
Şekil 3.16. Bir briketin çapı ve uzunluğu (D: çap, L: uzunluk)	39
Şekil 3.17. Kabın ve numunenin kurutmadan önce	40
Şekil 3.18. Materyal hacim ağırlığının belirlenmesi.....	41
Şekil 3.19. Kırılma (shatter) direnci (1. elek, 2. Briket numunesi, 3. numuneden oluşan kayıp)	42
Şekil 3.20. Dayanıklılık (tumbler) test düzeneği.....	42
Şekil 3.21. Kül fırını.....	43
Şekil 3.22. Yakıt bombası	44
Şekil 3.23. Kalorimetre cihazı.....	44

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Dünya geneli birincil enerji kaynakları tüketimi	2
Tablo 1.2. Yenilenebilir enerji kaynaklarının olumlu ve olumsuz yönleri....	7
Tablo 1.3. Dünyadaki biyokütle enerji miktarları.....	11
Tablo 1.4. Türkiye Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı	13
Tablo 1.5. Türkiye elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı.....	13
Tablo 1.6. Türkiye’de birincil enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi.....	14
Tablo 1.7. Türkiye biyokütle potansiyeli	20
Tablo 3.1. Baca gazı emisyon ölçüm cihazına ait teknik özellikler	35
Tablo 3.2. Baca gazı emisyon ölçümleri için kullanılan şömine tipi soba.....	35
Tablo 3.3. Briketleme standartları EN 14961-3	39
Tablo 4.1. Farklı nem ve öğütme inceliklerinde materyal hacim ağırlıkları.....	45
Tablo 4.2. Farklı nem ve öğütme inceliklerine sahip materyallerin farklı sıkıştırma basınçlarındaki sıkıştırma oranı	46
Tablo 4.3. Briket yoğunluğuna ait parametre değerleri	47
Tablo 4.4. Briketlerin mekanik dayanıklılık analiz sonuçları.....	48
Tablo 4.5. Nem, parçacık boyutu ve sıkıştırma basınçlarının kırılma direncine olan etkisi.....	49
Tablo 4.6. Nem, parçacık boyutu ve sıkıştırma basınçlarının briket sertlik direncine olan etkisi	51
Tablo 4.7. Briketlere ait kül içeriği değerleri.....	52
Tablo 4.8. Baca gazı emisyon değerleri.....	52
Tablo 4.9. İKHKKY sınır değerleri	53

1. GİRİŞ

Enerji, kaynaklarına bağılı olmak üzere değişik amaçlarda ve farklı sektörlerde kullanılan mutlak bir değere verilen addır. Bu bakımdan enerji, günümüz de insan hayatının ve ekonomilerin en önemli ve vazgeçilmez parçalarından biridir. Günlük hayatı devam ettirmek (barınmak, beslenmek, pişirmek, giyinmek, ulaşmak, iletişim), üretim yapmak, ulaşım olanaklarının kullanılması kısaca hayatın her alanında enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Enerjinin günlük hayatın en önemli parçası olmasının yanı sıra devletlerin sosyo - ekonomik güvenliği açısından da önemli bir faktördür.

Dünya genelinde enerji kaynağı bakımından zengin olan ülkeler mevcut enerji kaynaklarını korumak, enerji kaynağı bakımından yetersiz olan ülkeler ise enerji kaynaklarına ulaşmak için teknolojik ve askeri alanlara çok yüksek kaynaklar ayırmaktadırlar. Bir ülkenin uluslararası siyasi arenadaki pazarlık gücünü artırması enerji kaynaklarına olan yakınlığı ve enerji koridorlarını elinde bulundurması ile doğru orantılıdır. Dünya genelinde yoğun olarak kullanılan fosil türevi kaynaklar sınırsız olmadığından dolayı tükenecektir. Diğer yandan kullanılan enerji kaynakları, günün teknolojisine ve çevresel etkilerine göre yıllara göre değişim göstermektedir. 1960'ların ikinci yarısına kadar yaklaşık olarak iki yüz yıl gibi bir süre petrol ve kömür egemenliği altında devam etmiştir fakat daha sonra ortaya çıkan petrol krizleri, giderek artan fiyatlar, fosil kaynakların çevreye ve doğaya verdiği zararlar sonucu ortaya çıkan küresel ısınma, enerji kaynaklarının yeterliliği konusunda ortaya çıkan şüpheler güvensiz bir ortam oluşmasına neden olmuş ve bu yüzden de dünya genelinde yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışına yöneltmiştir. Yeni enerji kaynağı arayışları 1990'lı yıllardan itibaren ortaya çıkan çevre bilincinin etkisiyle fosil kaynaklardan elde edilen enerji, üretim ve tüketiminin yerel, bölgesel ve küresel düzeyde çevreye, atmosfere ve doğal kaynaklara direk veya dolaylı yoldan birçok olumsuz etkisinin olduğu ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan bu olumsuz etkilerinin başında da küresel ısınma ön plana çıkmaktadır. Fosil yakıtların, kontrolsüz kullanımının sonucunda ortaya çıkan çevresel zararların azaltılarak minimuma indirilmesi konusunda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gündeme gelmiş ve ülkeler bakımından da desteklenmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda enerjide özellikle son 100-150 yıldır enerji kaynağı olarak ilk sırada yer almakta olan kömür yerini petrole, petrolden doğalgaza, doğalgazdan da temiz ve kendini sürekli yenileyebilen enerji kaynaklarına doğru geçiş gözlenmektedir (Yılmaz, 2012).

1.1. Dünyada Enerji Üretimi ve Tüketim Durumu

Dünyada kullanılan enerjinin çoğu birincil enerji kaynağı diğer bir deyişle fosil türevi enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. British Petroleum şirketinin 2019 yılında yayınladığı rapora göre birincil enerji kaynaklarının tüketimi bir önceki yıla göre %2.9 artarak 13.8 milyar ton eş değer petrol olarak gerçekleşmiştir. Aynı raporda dünya enerji talebinin 2050 yılına kadar yaklaşık olarak %50 artacağı ve bununla birlikte petrol, kömür ve doğalgazın 2050 yılına kadar ana enerji kaynağı olarak kalacağı ön görülmektedir(BP, 2019b).

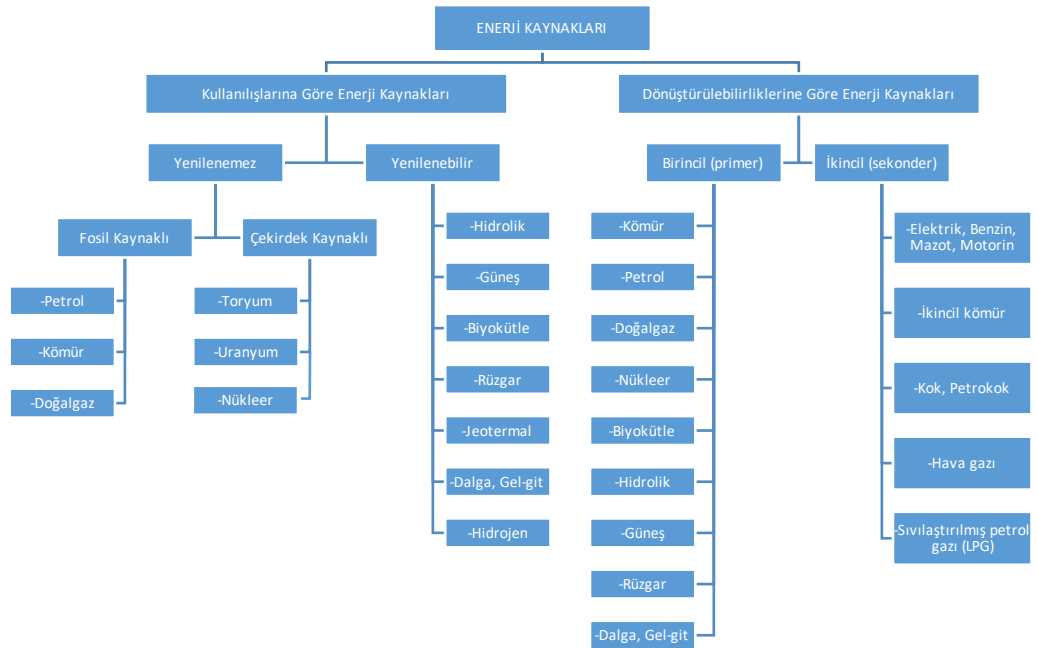
Enerji kaynaklarının tüketimi dikkate alındığında dünya enerjisinin yaklaşık olarak %50'ni Çin ve ABD tüketerek ilk iki sırayı almaktadır. 3.687 MTEP ile ilk sırayı Çin, 2.549 MTEP ile ikinci sırayı ABD yer alırken 160 MTEP tüketimi ile Türkiye 17.sırada yer alırken bazı ülkelere ait yıllara göre enerji tüketim verileri Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Dünya geneli birincil enerji kaynakları tüketimi (MTEP)(EİA, 2018)

ÜLKE	2018	Dünya Toplamındaki Payı (%)	Sıra
Çin	3687	29.51	1
ABD	2549	20.40	2
Rusya	834	6.68	3
Hindistan	799	6.40	4
Japonya	485	3.88	5
Kanada	383	3.07	6
Almanya	345	2.76	7
Brezilya	321	2.57	8
Güney Kore	314	2.51	9
İran	294	2.35	10
Fransa	260	2.08	11
Suudi Arabistan	256	2.05	12
Birleşik Krallık	209	1.67	13
Endonezya	201	1.61	14
Meksika	200	1.60	15
İtalya	172	1.38	16
Türkiye	160	1.28	17
Avustralya	153	1.22	18
İspanya	147	1.18	19
Güney Afrika	142	1.14	20
Tayland	139	1.11	21
Birleşik Arap Emirlikleri	117	0.94	22
Tayvan	114	0.91	23
Polonya	111	0.89	24
Mısır	102	0.82	25
TOPLAM	12494	100	

1.2. Enerji Kaynakları

Günümüzde, var olan enerji politikalarının temelinde mevcut kaynakların veriminin artırılması ve bu kaynakların çeşitlendirilerek yeni kaynak yaratmak ve bu kaynakların akılcı yöntemlerle kullanıma sunulması yatmaktadır (Küleççi, 2009). Farklı yollarla elde edilen enerji kaynakları, kaynağının bir işleme maruz bırakılıp bırakılmaması veya kullanılışlarına ve dönüştürülebilirlikleri dikkate alınarak kaynakların sınıflandırılması yapıldığında “Yenilenebilir Enerji Kaynakları” ve “Yenilenemeyen (Tükenebilir) Enerji Kaynakları” olarak iki farklı şekilde sınıflandırılmaktadır (Adaçay, 2014).



Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Koç ve Kaya, 2015)

Herhangi bir işlem görmemiş veya dönüşüme uğramamış enerji grupları birincil (primer) enerji olarak tanımlanmaktadır. Birincil (primer) enerji kaynakları, kömür, petrol, nükleer, doğal gaz, biyokütle, hidrolik, dalga-gelgit, rüzgârdır ve güneş enerjisidir. Primer enerjinin çeşitli işlemler sonucunda dönüştürülmesiyle elde edilen yeni enerji grubuna da ikincil(sekonder) enerji olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1.1). Elektrik, mazot, benzin, motorin, kok kömürü, petrokok, ikincil kömür, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve hava gazı da ikincil enerji kaynaklarıdır. Günümüzde çoğunlukla kullanılan ve genel olarak enerji kaynaklarının kullanımına bağlı olarak tüketilebilirliği ya da kullanılmasına rağmen kendini sürekli olarak yenileyebilme özelliğinden dolayı yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak iki farklı grupta

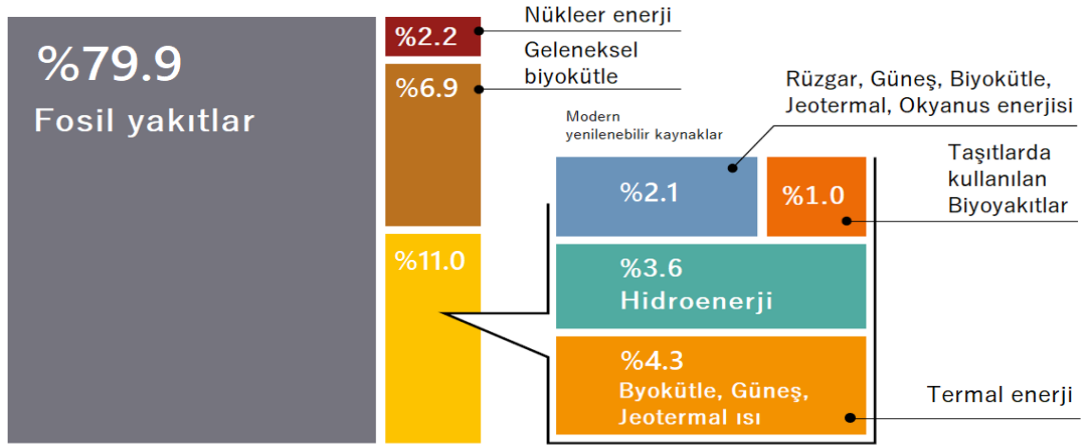
sınıflandırılmaktadırlar. Kaynağına göre yenilenemez enerji kaynakları çekirdek kaynaklı ve fosil kaynaklı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Petrol, Kömür ve doğal gaz fosil kaynaklı yenilenemez enerji kaynağına girerken, toryum ve uranyum da çekirdek kaynaklı yenilenemez enerji kaynağı içerisinde yer almaktadır. Hidrojen, jeotermal, güneş, rüzgâr, hidrolik, dalga gelgit ve biyokütle ise yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alır (Koç ve Kaya, 2015).

1.2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Birçok ülke enerji bakımından ihtiyaç duyduğu enerjiye sahip olabilmek için büyük miktarlarda ekonomik kaynak ayırmak zorundadır buda ülke ekonomilerine çok fazla zarar vermektir. Ülkeler enerji bakımından, dışa bağımlılıktan kurtulmak için daha ucuz, daha ulaşılabilir ve tükenmeyen enerji kaynakları arayışlarına yönelmişlerdir. Ayrıca fosil kaynaklı yakıtların bilinçsizce tüketilmesi nedeniyle çevreye ve doğaya verdikleri zarardan dolayı fosil kaynaklara göre birçok konuda daha avantajlı olan yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve enerji kaynağı olarak kullanılması fikri ön plana çıkmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları doğanın tekrarlanan döngü içerisinde kendini devamlı olarak yenileyebilen enerji kaynakları olarak tarif edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil kaynaklı yakıtlara göre göze çarpan en önemli özelliği, karbondioksit (CO₂) emisyonlarını azaltarak çevrenin ve doğanın korunmasını sağlamasıdır. Diğer bir önemli özelliği ise küresel ısınmayı yavaşlatması, yerli kaynaklar olmalarından dolayı enerjide dışa bağımlılığı azaltması ve yeni iş olanaklarının ortaya çıkarmasıyla birlikte işsizliğin azalmasına katkıda bulunmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları; Hidrolik enerji, hidrojen enerjisi, gelgit enerjisi, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi gibi kalıcı olarak tüketilme ihtimali olmayan kaynaklardır (Aras vd., 2017).

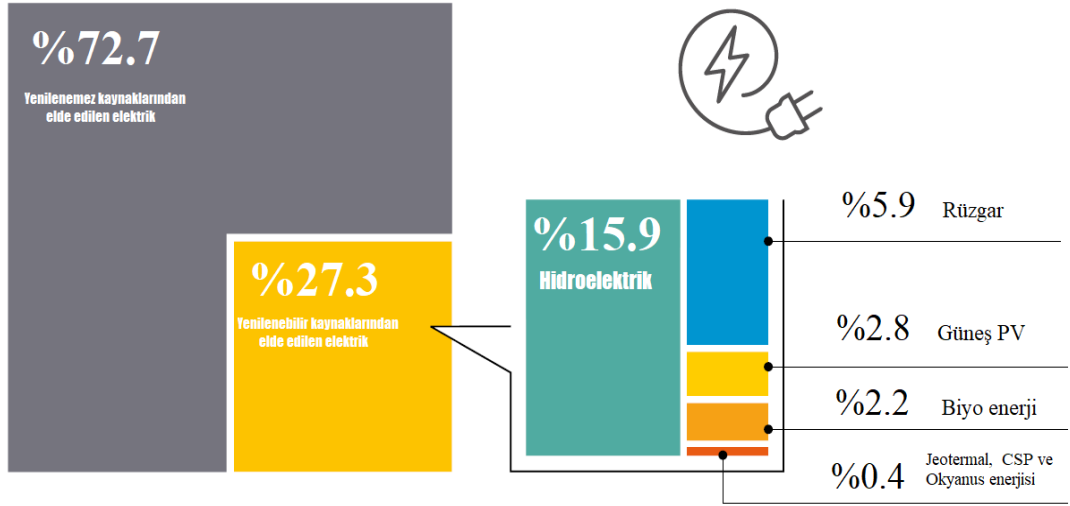
Renewable Energy Policy Network for 21st Century 2019 yılında yayınlanan raporuna göre 2018 yılı için dünyada kullanılan enerjinin kaynaklar bazda dağılımı; fosil yakıtlar, nükleer enerji, geleneksel biyokütle ve modern biyokütle şeklindedir (Şekil 1.2).



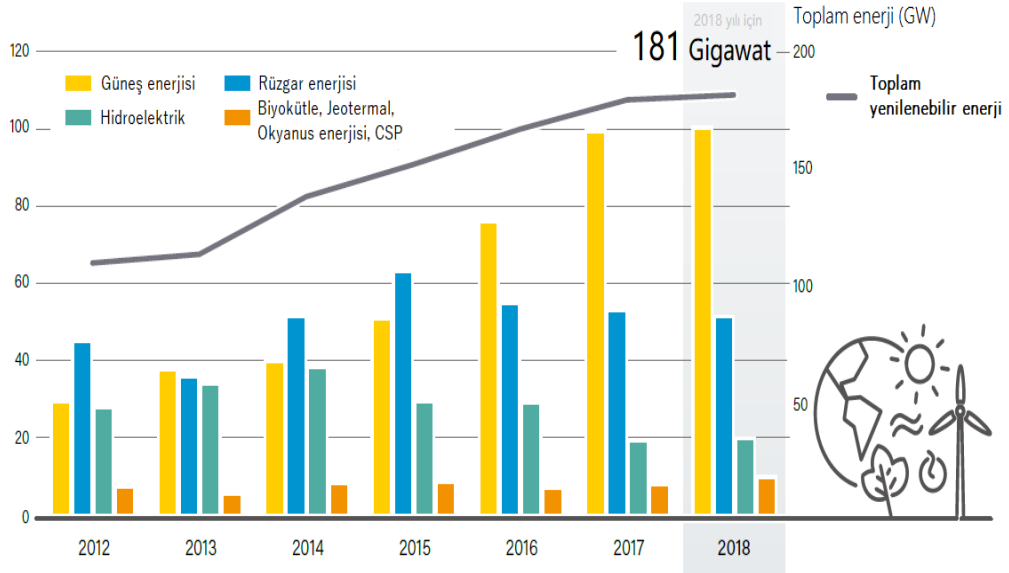
Şekil 1.2. Küresel çapta 2019 yılı için enerji kullanımının kaynaklara göre dağılımı (REN21, 2020)

2018 yılı sonunda dünya genelinde kullanılan enerjinin %17.9'u yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Modern yenilenebilir kaynaklar bir önceki yıla göre %4.4 büyüme göstererek %10.6'sını oluşturmaktadır. Geriye kalan %7.5'lik payı ise geleneksel biyokütle karşılar, daha çok gelişmekte olan ülkelerde pişirme ve ısıtma için kullanılmaktadır. Modern yenilenebilir enerjinin en büyük kısmını yenilenebilir termal enerji (%4.2) oluştururken geriye kalan kısmını ise sırasıyla hidroelektrik (%3.6), rüzgar enerjisi ve güneş, PV dahil diğer yenilenebilir enerji kaynakları (%2) ve biyoyakıtlar (%1) oluşturmaktadır (REN21, 2020).

Yenilenebilir enerji kaynakları, dünya genelinde üretilen elektriğin %27.3'nü karşılamaktadır (Şekil 1.3) ve bu değer 2040 yılına kadar %45'e yükselmesi beklenmektedir. Artışın büyük bir kısmının rüzgâr, hidroelektrik ve güneş enerjisinde gerçekleşmesi beklenmektedir. Ayrıca 2018 yılı için yenilenebilir enerji kaynaklarının dağılımında %15.9'luk payı ile hidroelektrik enerjisi ilk sırayı alırken, rüzgar enerjisi 5.9, güneş enerjisi %2.8, biyoenerji %2.2 ve %0.4 ile jeotermal, CSP, okyanus enerjisi takip etmektedir. Aynı yıl içerisinde dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar ve devlet teşvikleri sayesinde istikrarlı bir şekilde büyümeye devam etmiştir. 2018 yılında gerçekleştirdiği büyüme ile bir önceki yıla göre 181 GW'lık elektrik enerjisi üretilerek, dünya genelinde ki kapasitesini 2.378 GW'a çıkartmıştır (Şekil 1.4). Yenilenebilir enerji kaynakları istikrarlı büyümeyle birlikte 2040 yılında elektrik üretiminde ki payını artırarak elektrik üretiminde kömürü geçeceği ön görülmektedir (BP, 2019a).



Şekil 1.3. Dünya genelinde 2019 yılında üretilen elektriğin kaynaklara göre dağılımı (REN21, 2020)



Şekil 1.4. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin yıllara göre değişimi (REN21, 2020)

Şekil 1.4 incelendiğinde yenilenebilir enerji kaynaklarının istikrarlı bir şekilde her yıl arttığı görülmektedir. IRENA'nın 2019 yılında yayınlamış olduğu rapora göre yenilenebilir enerji sektörü, 2018 yılında doğrudan veya dolaylı yollardan yaklaşık olarak 11 milyon insana iş olanağı sağladığını açıklamıştır (IRENA, 2019).

IEA'nın 2016 da yayınladığı raporuna göre, küresel çapta kullanılan enerjinin 2040 yılına gelindiğinde %30 artmış durumda olacağını belirtmiştir. 2040 yılına gelindiğinde enerji kaynakları incelendiğinde büyümenin en çok yenilenebilir enerjide gerçekleşeceği ve elektrik üretimi içerisinde ki payını %23'ten %37'ye çıkaracağı tahmin edilmektedir (EIA, 2016).

Türkiye, coğrafi konumu bakımından yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılması açısından diğer ülkelere göre daha avantajlı konumdadır. Çünkü Türkiye'nin ılıman iklim kuşağında bulunması ve üç tarafı denizlerle çevrili olması yararlanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliğini arttırmaktadır. Enerji ihtiyacının giderek artması ve çevresel etkilerinin azaltılması konusunda dünyada olduğu gibi ülkemizde de her geçen gün önemi artmaktadır. Ülkemizin enerji bakımından dışarıya olan bağımlılığı da göz önüne alındığında gelişen teknolojilerin ve yöntemlerin incelenip ülkemiz coğrafyasına uygun hale getirilerek kullanımını arttırılmalı ve bu bağlamda yenilenebilir enerjinin üretimi için gerekli olan yasal düzenlemelerin bir an önce yapılması gerekmektedir.

Tablo 1.2. Yenilenebilir enerji kaynaklarının olumlu ve olumsuz yönleri (Öztürk, 2013)

Yenilenebilir enerji kaynakları	Üstünlükleri	Olumsuz yönleri
Hidrolik enerji	<ul style="list-style-type: none"> • Çevre kirliliği yaratmaz. • Aşırı enerji ihtiyacında çok hızlı devreye girer. • Acil durumlarda hızla devreden çıkarılabilir. • Doğal bir kaynak olup dışa bağımlı değildir. • Yapılan yatırım sadece enerji için değil sulama-taşkın kontrolü amacıyla kullanılabilir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Yatırım maliyetleri yüksektir. • Toplam inşaat süresi uzundur. • Yağış miktarına bağlıdır. • Barajlar çevresindeki bölgenin ekolojisini değiştirir. • Yerleşim bölgeleri ve antik bölgelerin su altında kalma olasılığı vardır.
Jeotermal enerji	<ul style="list-style-type: none"> • Çevre dostudur. Elektrik üretimi için, suyun ısıtılması ve buharlaştırılması için fosil enerjiye gereksinim duyulmaz. • Doğal bir kaynaktır ve dışa bağımlı değildir. • Verimi çok yüksektir. • Doğrudan elde edilebildiği için maliyeti düşüktür. 	<ul style="list-style-type: none"> • Yapılarda bulunan bazı kimyasal zararlı maddeler nedeniyle re-enjeksiyon gereklidir. • Tüketilen kısmının, aynı oranda ve kısa sürede tekrar oluşması olanaklı değildir. • Jeotermal kaynaklardan çıkan akışkan, genellikle aşındırıcı ve kirlilik yapıcı minerallerde içerir. • Ön araştırma ve hazırlık maliyeti yüksektir. • Sondaj ve makineler için yeterli boş alan gerekir. • Sistem yerleşim bölgelerine yakın olmalıdır.
Güneş enerjisi	<ul style="list-style-type: none"> • Yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. • Doğal malzemeler kullanılır. • Ekonomiktir. • Dışa bağımlı değildir. • Çevre açısından temiz bir enerji kaynağıdır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verimi düşüktür. • Mevsimsel ve günlük kesiklik gösterir. • Başlangıç maliyeti yüksektir. • Tüketiciler için maliyeti yüksektir. • Depolanması gerekebilir. • Gölge olan kısımlarda kapasite düşer.

Tablo 1.2 (Devam)

Rüzgâr enerjisi	<ul style="list-style-type: none"> • Kararlı, güvenilir ve sürekli bir kaynaktır. • Dışa bağımlı değildir. • Gelişen teknoloji ile birlikte üretilen enerjinin birim maliyeti düşmektedir. • Kirlilik yaratmayan ve çevreye çok az zarar veren yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. • Yeryüzünde %95 gibi bir alanda rüzgâr enerjisi elde edilebilir. Bu alanlarda aynı zamanda diğer faaliyetlerde sürdürülebilir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Türbinler için geniş alanlar gereklidir. • Türbinler, gürültülü çalışmalar ve kuş ölümlerine neden olabilirler. • Radyo ve TV alıcılarında parazitlenme yaparlar. • Türbinlerin sesli çalışıyor olması yakın çevredeki insanlar için rahatsız edici olabilir. • Bölgesel olarak değişmekle birlikte verim genel olarak düşüktür. • Kent merkezlerinde ve vadilerde istenilen verim elde edilemez. • Türbinlerin devrilme ve parçalanmasına ilişkin güvenlik sorunu oluşabilir.
Biyokütle enerjisi	<ul style="list-style-type: none"> • Hemen her yerde yetiştirilebilir. • Üretim ve çevrim teknolojileri iyi bilinmektedir. • Düşük ışık şiddeti yeterlidir. • Her ölçekte enerji verimi için uygundur. • Depolanabilir. • 5-35°C arasında sıcaklık gerektirir. • Sosyo-ekonomik önemi vardır. • Çevre açısından daha az zararlı etkileri vardır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Çevrim verimleri düşüktür. • Tarım alanları için rekabet oluşturur. • Su içeriği fazladır. • Sadece geniş yerleşim bölgeleri için uygulanabilir.
Deniz akımları enerjisi	<ul style="list-style-type: none"> • Güç kaynağı sonsuz ve boldur. • Fosil yakıtlara bağımlılığı azaltır. • Çevreyi kirlilemez. • İş olanakları yaratır. • İş olanakları yaratır. • Elektrik şebekesi olmayan uzak bölgelere elektrik sağlar. • Deniz ortamında yapılacak diğer çalışmalarda potansiyel teknolojinin kullanımına olanak tanır. • Tuzlu su, tatlı suya dönüştürülür ve gereksinim duyulan bölgelere pompalanır. • Deniz dibi zenginlikleri yüzeye çıkarılır. • Kıyıların korunmasını sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemler yerleşim bölgelerine yakın olmalıdır. • Sistemler kötü hava koşullarında zarar görebilir. • Yeni bir teknoloji olduğundan, yeterli teknik eleman bulunması zordur.

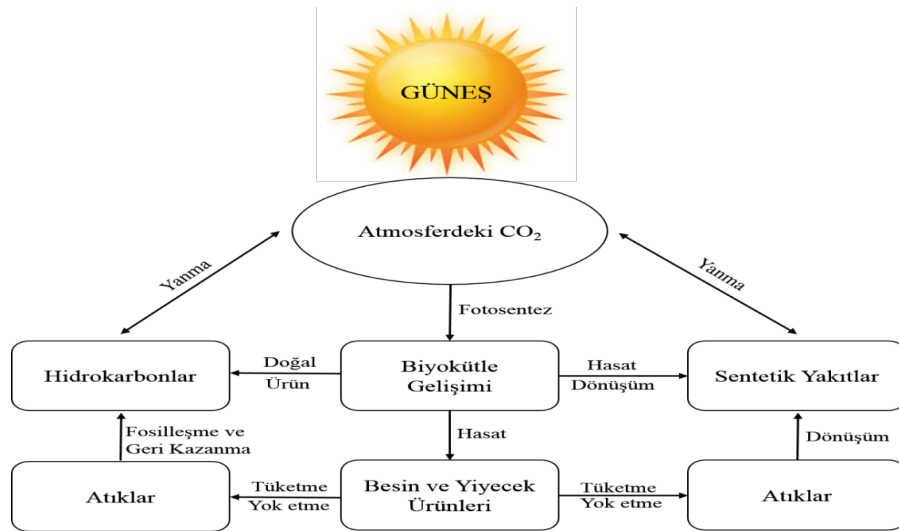
1.2.2. Biyokütle Enerjisi

Fotosentez yoluyla yeşil bitkilerin güneşten aldıkları enerjiyi kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu açığa çıkan enerji biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır (Çukurçayır ve Sağır, 2008). Biyokütle enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları içinde önemli bir yere sahiptir. Biyokütle enerjisi tükenmeyen ve her çeşit

organik atıklardan (denizde ki algler, bitkiler, yosunlar, otlar, gübre, sanayi atıkları ve evsel organik atıklar) elde edilmesi ve doğa dostu bir enerji kaynağı olmasından dolayı kırsal alanlarda yaşayan toplumların ve çiftçilerin sosyo-ekonomik gelişimleri için önemli bir gelir kaynağı ve enerji kaynağıdır (Mazza, 2004).

Tahmini olarak dünya üzerinde var olan biyokütlenin yaklaşık olarak %90'ını ormanlardaki gövdeler, dallar, yapraklar, döküntü maddeleri ile orman içerisinde yaşayan hayvanlar ve mikroorganizmalar oluşturmaktadır. Ormanlık alanlardan yıllık olarak 50×10^{19} ton biyolojik atık ortaya çıktığı tahmin edilmektedir. Bu üretim miktarı; ziraat alanları, çayırliklar, otlaklar, stepler, tundralar ve geri kalan vejetasyon formlarında fotosentez ile oluşan bütün birincil biyokütle miktarlarından daha fazladır (Saraçoğlu, 2008).

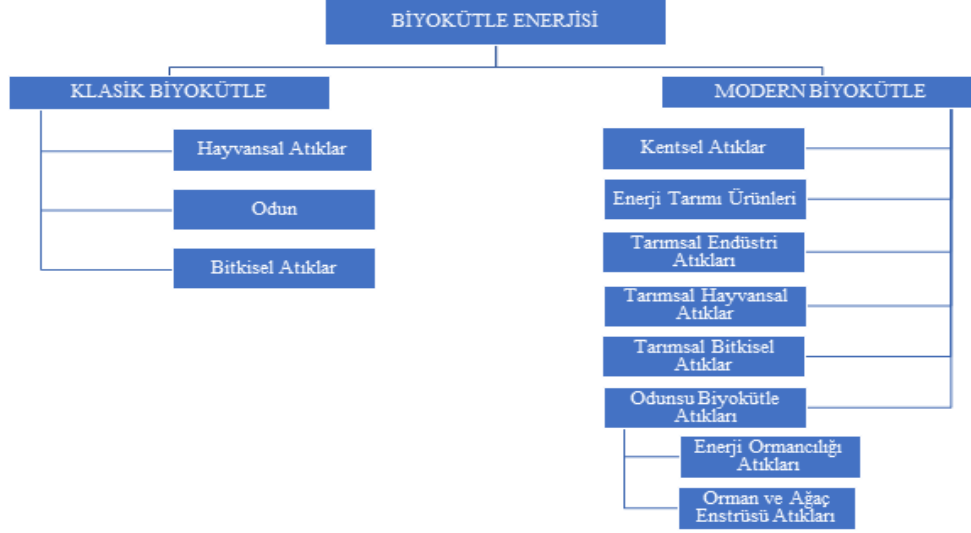
Biyokütle, elektrik, yakıt ve ısı ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılmaktadır. Ayrıca endüstriyel, kentsel ve diğer atıkların neden olduğu çevre kirliliğini azaltmak için kullanılan biyokütle, enerji teknolojilerinin gelişmesinin de etkisiyle fosil kaynaklı yakıtların yerini alabilecek çok sayıda katı, sıvı ve gaz yakıtlar elde edilebilmektedir. Kökeni biyokütle olan en önemli yakıtlar, dizel motorlara alternatif olabilecek biyodizel, benzine alternatif olabilecek etanol, LPG'ye alternatif olaraksa biyogaz olarak sayılabilir. Ayrıca alternatif olarak kullanılacak yakıtların sera gazı salınımına neden olmadığından çevreci yakıtlardır (Adıyaman, 2012). Biyokütleden enerji dışında, mobilya imalatında, kâğıt yapımında ve yalıtım maddesi yapımı gibi birçok alanda da faydalanılmaktadır (Doğan, 2015). Biyokütlenin oluşum süreci ve tüketim aşaması Şekil 1.5'de verilmiştir (Öztürk, 2013).



Şekil 1.5. Biyokütlenin oluşum ve tüketim süreçleri (Öztürk, 2013)

1.2.2.1. Biyokütle Enerji Kaynakları

Biyokütle enerjisi, kullanım şekline göre klasik ve modern biyokütle olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Biyokütle enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Öztürk, 2013)

Biyokütle enerjisi kullanımına göre klasik ve modern yöntemler olmak üzere iki farklı gruba ayrılmaktadır. Klasik biyokütle, herhangi bir işleme tabii tutulmadan direkt olarak yakılmasıyla enerji elde edilen ve özellikle de az gelişmiş ülkeler de daha çok tercih edilen biyokütle enerjisidir. Modern biyokütle, kaynaklarının farklı işlemler sonucunda elektrik, proses ısı, sıvı ya da gaz yakıt elde edilen biyokütle enerji kaynağıdır (MMOB, 2020).

1.2.2.2. Dünyada Biyokütle Potansiyeli

Fosil yakıtların hızla tükenmesi, düzensiz kullanımı, artan enerji ihtiyacı ve CO₂ emisyon değerlerinin yüksek olmasının sonucunda ortaya çıkan çevre kirliliği gibi nedenlerden dolayı biyokütle kaynaklarının önemi artmıştır. Dünya genelinde, 1.120.000 MW samandan, 1.360.000 MW orman atıklarından, 500.000 MW hayvan atıklarından, 17.700.000 MW şeker kamışından ve 2.400.000 MW çöp ve odunsu bitkilerden elde edilebilecek 23.100.00 MW enerji potansiyeline sahiptir. (Anonim, 2018a).

Biyoenerji üretimi, son yıllarda bazı ülkelerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak ve çevreci amaçlar doğrultusunda artış göstermiştir. Ancak biyoenerji, özellikle son yıllarda bazı piyasalarda ki petrol fiyatlarının düşük olması ve politika belirsizlikleri

gibi nedenler biyoenerji üretiminin yavaşlamasına neden olmuştur. 2018 yılında biyokütle enerjisi dünyada genelinde kullanılan toplam enerjinin yüzde 12'sini (45.2 EJ) oluşturmaktadır. Bu oranın yüzde 6.9'unu (25.9 EJ) geleneksel biyokütle, yüzde 5.1'ni (19,3 EJ) modern biyokütleden meydana gelmektedir. Modern biyoenerji kullanım amaçlarına göre, ısıtma için harcanan enerjinin %8.6'sını (13.9 EJ), ulaşımda için harcanan enerjinin 3.1'ni (3,7 EJ) ve elektrik üretimi için harcanan enerjinin 2.1'sini (1,7 EJ) karşılamaktadır (REN21, 2020).

Biyo-ısı, kombine ısı ve güç (CHP) sistemleri kullanılarak elektrik ve ısının birlikte üretimi de dahil olmak üzere, biyokütle kaynağının üretildiği yerde doğrudan enerjiye veya ısıya dönüştürülerek kullanılabilir. Isıtma için kullanılan biyokütlenin çoğu odun esaslı yakıttır, ancak doğal gaz dağıtım sistemlerine enjekte edilebilen biyometan dahil olmak üzere sıvı ve gazlı biyoyakıtlar da kullanılmaktadır.

Dünya genelinde konvansiyonel ve biyokütle enerji miktarlarıyla, biyokütlenin toplam enerji içerisindeki payı Tablo 1.3'de verilmiştir (Demirel, 2015).

Tablo 1.3. Dünyadaki biyokütle enerji miktarları (MTEP)

Bölge	1995			2020				
	Biyokütle	Konvans. enerji	Toplam	Biyokütle payı (%)	Biyokütle	Konvans. enerji	Toplam	Biyokütle pay (%)
Çin	206	649	855	24	224	1524	1748	13
Doğu Asya	106	316	422	25	118	813	931	13
Güney Asya	235	188	423	56	276	523	799	35
Latin	73	342	416	18	81	706	787	10
Afrika	205	136	341	60	371	260	631	59
Toplam Gelişmekte olan ülkeler	825	1632	2456	34	1071	3825	4896	22
Toplam OECD olmayan ülkeler	849	2669	3518	24	1097	5494	6591	17
OECD	81	3044	3125	3	96	3872	3968	2
Dünya	930	5713	6643	14	1193	9365	10558	11

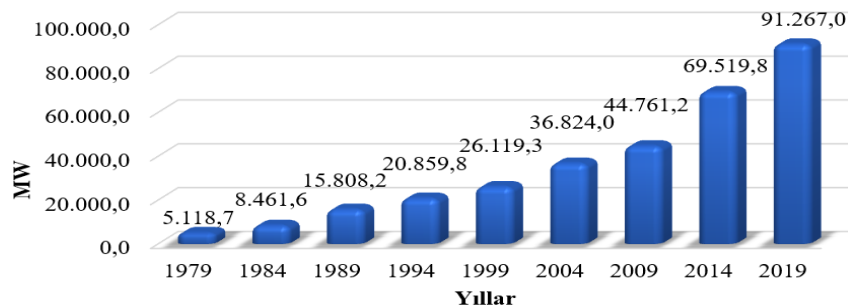
AB'de yenilenebilir enerjinin, kullanılan toplam enerjideki payının artırılması konusunda 25 Şubat 2015 tarihinde açıklanan "Enerji Birliği" raporuna göre 2020 hedefi olarak payını %20 ve 2030 da ise %27 olduğunu açıklamıştır. Bu bağlamda Avrupa birliği üye ülkelerinin düzenlemiş oldukları politikalarla yenilenebilir enerji kullanımının en yüksek olduğu ülkelerin İsveç (%52.1), Letonya (%37.1), Finlandiya (%36.8) ile Avusturya'nın (%32.6) yer aldığı görülürken, yenilenebilir enerji

kullanımının en düşük olduğu ülkeler ise Lüksemburg (% 3.6), Malta (%3.8), Hollanda (%4.5) ile İngiltere (%5.1) olarak sıralanıyor. Bulgaristan, Estonya, Litvanya ve İsveç'in 2020 için belirlemiş oldukları hedeflerine şimdiden ulaştıkları görülürken, bu hedeflerin gerisinde kalan ve farkın en fazla olduğu ülkelerin İngiltere (%15'lik ulusal hedefe karşın %5.1 gerçekleşme), Hollanda (%14'lük ulusal hedefe rağmen %4.5 gerçekleşme), Fransa (%23'lik ulusal hedefe rağmen %14.2 gerçekleşme) ve İrlanda (%16'lık ulusal hedefe rağmen %7.8 gerçekleşme) olduğu görünmektedir. Bu farklılığın başlıca nedenleri arasında ülkelerin yenilenebilir enerjiye verdikleri desteğin yetersiz olması, İngiltere ve Fransa gibi ülkelerin nükleer enerji gibi alternatif enerjileri daha üstün görmesi gibi çok sayıda sebep bulunuyor (Anonim, 2018b).

1.3. Türkiye'nin Enerji Durumu

Enerji günümüzün en büyük sorunlarından biridir ve bununla birlikte teknolojinin gelişmesi, nüfusun hızla artması ve ekonomideki büyümeler gibi nedenler dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de hızla artmaktadır (Aybek vd., 2015). Türkiye nüfusunun 2010 yılın %1,2 artış oranıyla 74,115 milyona ve 2022 yılında %1 artışla 83,421 milyona ulaşacağı tahmin edilmektedir (Topal ve Arslan, 2008).

Türkiye başta petrol olmak üzere, kömür ve doğalgaz gibi enerji ihtiyacını karşılayamamakta ve ürettiği enerjinin üç katından fazla enerjiyi de tüketmektedir. Mevcut durum da enerji ihtiyacını karşılayabilmek için %80 gibi yüksek miktarlarda enerjiyi ithal ederek karşılamakta, buda ülke ekonomisi için büyük bir yük oluşturmaktadır. Türkiye, ilerleyen yıllar için on birinci strateji eylem planında enerji ithalatını düşürmeye ve bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmayı hedef olarak koymuştur. Türkiye mevcut kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı Şekil 1.7 ve Tablo 1.4 de verilmiştir.



Şekil 1.7. Türkiye kurulu enerji gücünün yıllara göre değişimi

Tablo 1.4. Türkiye Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı (TEİAŞ, 2019a)

	2009	%	2019	%
Kömür	10.590	23.66	19.570	21.44
Sıvı Yakıtlar	1.699	3.80	189	0.21
Doğal Gaz	11.826	26.42	21.844	23.93
Yenilenebilir + Atık + Atık Isı	87	0.19	1.171	1.28
Çok Yakıtlı	5.138	11.48	4.889	5.36
Hidrolik	14.553	32.51	28.503	31.23
Jeotermal	77	0.17	1.515	1.66
Rüzgâr	792	1.77	7.591	8.32
Güneş	-	-	5.995	6.57
Toplam	44.761	100	91.267	100

Şekil 1.7 incelendiğinde 2019 yılı için Türkiye'nin kurulu gücü 91.267 MW olarak görülmektedir. Kurulu güç içerisinde büyük pay %49'luk payı ile yenilenebilir enerji kaynakları sahipken, yenilenebilir enerji kaynaklarında ise hidrolik enerji ilk sırayı almaktadır. Ayrıca Tablo 1.4'de görüleceği üzere yapılan yatırımlar ve desteklemelerle birlikte 10 yıllık bir periyotta kurulu güç iki katından fazla bir değere ulaşmıştır.

Tablo 1.5. Türkiye elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (EÜAŞ, 2019)

KAYNAKLAR	KURULU GÜÇ (MW)
Hidrolik	88.879
Doğalgaz + LNG	55.683
Linyit + Taş Kömürü	50.410
İthal Kömür	60.382
Rüzgar	21.768
Diğer (Jeotermal + Biyokütle + Atık Isı)	13.041
Güneş	9.330
Sıvı Yakıtlar *(Fuel-Oil + Nafta + Asfaltit + Motorin)	3.059
TOPLAM	302.552

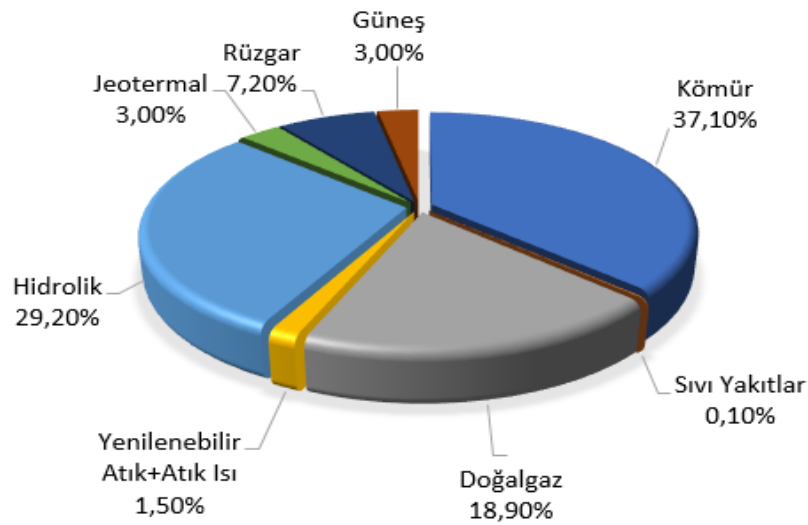
2019 yılı sonu itibariyle elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı incelendiğinde kurulu gücün %30 luk payı ile elektrik üretiminde ilk sırada yer almaktadır. Sırasıyla %20 ile İthal kömür, %18.5 ile Doğalgaz + LNG, %18.3 ile Linyit + Taş kömürü, %16.6 ile Linyit + Taş Kömürü, %4.3 ile Diğer (Jeotermal + Biyokütle + Atık Isı), %3.1 ile Güneş ve %1'lik oranıyla Sıvı yakıtlar (Fuel-Oil + Nafta + Asfaltit + Motorin) son sırada yer almaktadır (Tablo 1.5).

Türkiye, gelişmekte olan ülkelerle kıyaslandığında dünyada en hızlı büyüyen enerji pazarına sahiptir. 1995 yılında OECD ülkeleri içerisinde enerji üretiminde ki payı %2 olan Türkiye yaptığı atılımlar sayesinde 2020 yılında bu alandaki payını %5 arttırarak %7'ye çıkarmış ve OECD ülkeleri içerisinde önemli bir ekonomik güç konumuna geleceği tahmin edilmektedir (Özyiğit vd., 2011).

1.3.1. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji ve Biyokütle Potansiyeli

1.3.1.1. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji

Türkiye giderek artan nüfusun enerji ihtiyacını ve gelişmekte olan sanayisi için enerji ihtiyacını kendi kaynaklarından karşılayamamakta ve ithal etmektedir. Enerji ithalatının ülkeye olan maliyeti 2020 yılı Ocak-Mayıs ayları verilerine göre enerji ithalatı bir önceki yılın Ocak-Mayıs aylarına göre %5.2 düşüş ile 82.6 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir (Anonim, 2020a). Enerjinin ülke ekonomisine olan maliyeti, enerji konusunda yeni arayışlar içerisine girilmesine ve dolayısıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının daha aktif kullanımının önemini artmıştır (Anonim, 2020b).



Şekil 1.8. 2019 yılı birincil enerji kaynakları bakımından elektrik üretimi (%) (TEİAŞ, 2019b)

TEİAŞ 2019 yılı için yayınlanan verilere bakıldığında toplam elektrik üretimi 303.897,50 GWh olarak gerçekleştirilmiştir. Ülkemizin elektrik enerjisi üretiminin kaynak türlerine göre dağılımına bakıldığında %37.1’lik bir pay ile ilk sırayı kömür almaktadır. %29.2 ile hidroenerji 2.sırayı alırken, %19 ile 3.sırada doğalgaz almaktadır ve sırayla %7.2 ile rüzgâr, %2.9 ile jeotermal, %3.0 ile güneş, %1.5 ile yenilenebilir atık ve atık ısı gelmektedir (Tablo 1.6).

Tablo 1.6. Türkiye’de birincil enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi (TEİAŞ, 2019b)

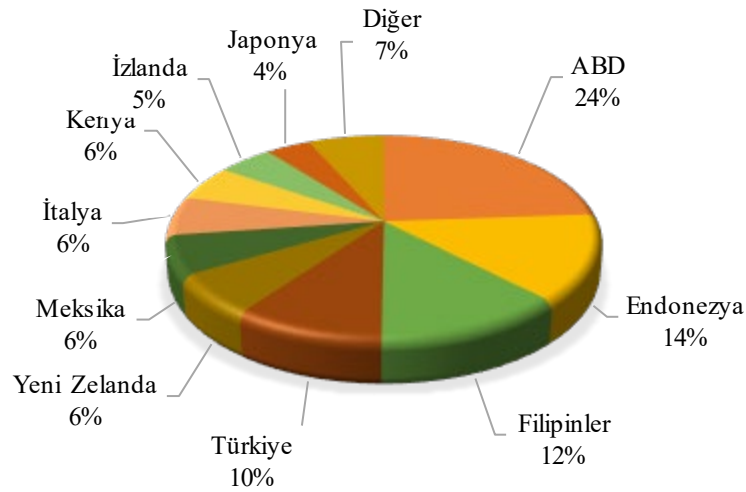
Kömür	112.894,1
Sıvı Yakıtlar	336,0
Doğal Gaz	57.288,2
Yenilenebilir Atık + Atık Isı	4.624,2
Hidrolik	88.822,8
Jeotermal	8.951,7
Rüzgâr	21.730,7
Güneş	9.249,8
TOPLAM	303.897,50 GWh

Mevcut kullanım olanaklarının artırılması ve temiz enerji hedefleri doğrultusunda 18 Mayıs 2009 tarihli ve 2009/11 sayılı Yüksek Planlama Kurulu Kararı eki olan, “Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi”nde yenilenebilir enerji kaynakları bakımından 2023 yılı için hedefler ortaya konulmuştur;

- Yenilenebilir kaynakların elektrik enerjisi üretimi içerisindeki payının %30’a çıkartılması,
- Hidroelektrik potansiyelimizin tamamının elektrik enerjisi üretiminde kullanılması,
- Rüzgâr enerjisinin 2023 yılına kadar kurulu gücün 20.000 MW’a ulaşması,
- 600 MW’lık jeotermal enerji potansiyelin işletmeye girmesi,
- Güneş enerjisinin elektrik üretimi içinde kullanılmasını yaygınlaştırmak ve bu kapsamda yasal düzenlemelerin yapılması,
- Belirlenen hedefler doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynaklarının daha aktif kullanımı sonucu başta doğalgazın elektrik üretiminde ki payının %30’un altına düşürülmesi başlıca hedefler olarak belirlenmiştir.

1.3.1.2. Jeotermal Enerji

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları bakımından dünyadaki birçok ülkeden daha avantajlı bir konumdadır. Örneğin; jeotermal enerji kaynağı bakımından Türkiye 1.526 MWe kurulu güç ile; ABD, Endonezya ve Filipinler ile birlikte Avrupa da ilk dört sırada yer almaktadır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Dünyada ülkeler bazında jeotermal enerji potansiyeli (Anonim, 2020c)



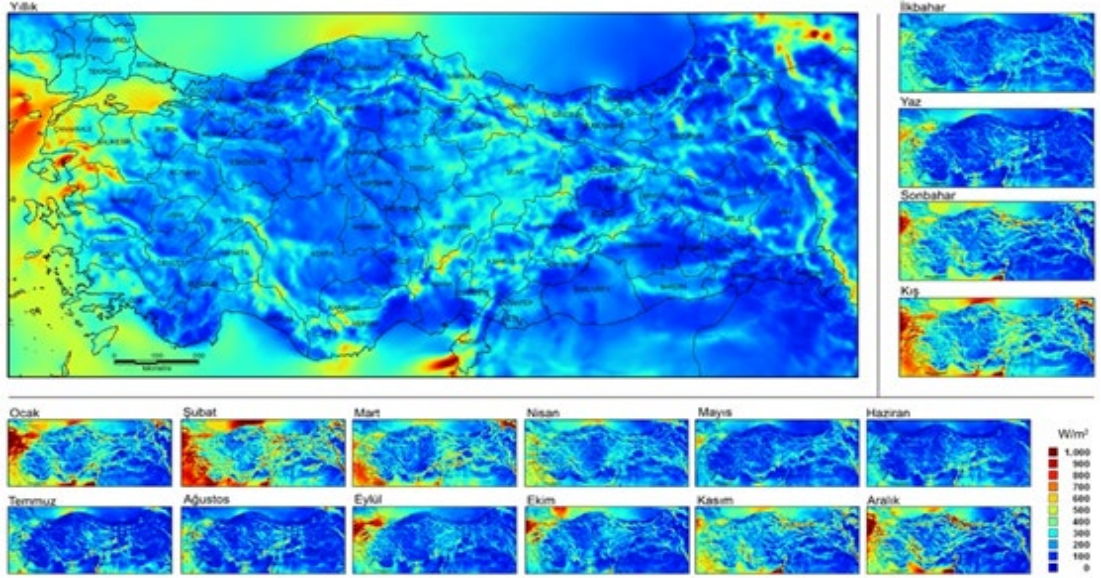
Şekil 1.10. Türkiye jeotermal kaynaklar ve volkanik alanlar haritası (MTA, 2020)

Şekil 1.10'da ki haritada da görüldüğü üzere ülkemizin jeotermal potansiyeli oldukça yüksek olup potansiyel oluşturan alanların %78'i Batı Anadolu'da, %9'u İç Anadolu'da, %7'si Marmara Bölgesi'nde, %5'i Doğu Anadolu'da ve %1'i diğer bölgelerde yer almaktadır. Jeotermal enerji kaynaklarının %90'ı düşük ve orta sıcaklıkta olup doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, çeşitli endüstriyel uygulamalar vb.) için, %10'u ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için kullanımı uygundur.

1.3.1.3. Rüzgâr Enerjisi

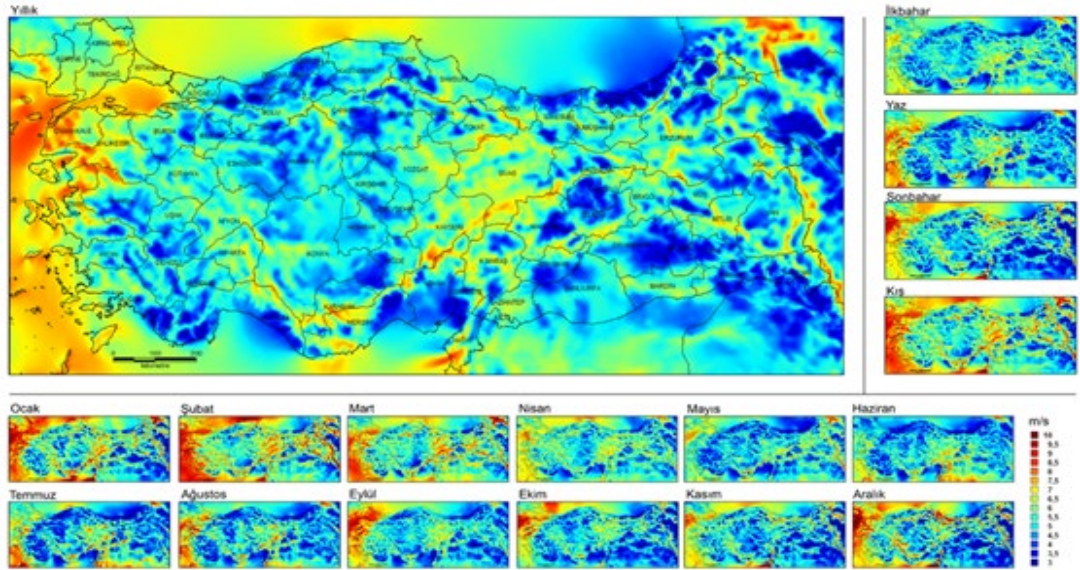
Enerji bakanlığı sitesinde yer alan ve standart olarak kabul edilen; Türkiye'de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7.5 m.s^{-1} üzeri rüzgâr hızlarına sahip alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiştir. Bu kabuller ışığında, orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak üretilen rüzgâr kaynak bilgilerinin verildiği Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) hazırlanmıştır. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir ve bu potansiyele karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün %1.30'una denk gelmektedir.

TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYEL ATLASI
Rüzgar Güç Yoğunluğu Haritası
50 m Yükseklik



Şekil 1.11. Türkiye rüzgâr güç yoğunluğu haritası

TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYEL ATLASI
Rüzgar Hızı Haritası
50 m Yükseklik



Şekil 1.12. Türkiye rüzgâr hızı haritası (REPA, 2020)

Türkiye rüzgâr enerjisi birliğinin açıkladığı verilere göre rüzgâr enerjisi kurulu kapasitesi son 5 yılda %47,66'lık bir artış göstererek 2014 yılında 3.630 MW olan kurulu kapasitesini 2019 yılında 7.615 MW'a yükseltmiştir. Türkiye mevcut şu an ki durumuyla rüzgâr enerjisi bakımından Avrupa'da 11.sırada yer almaktadır. Planlanan ve inşaatı devam etmekte olan projeler sayesinde rüzgâr enerjisinin elektrik üretimindeki payını ilerleyen yıllarda arttıracığı ön görülmektedir (TUREB, 2019).

1.3.1.4. Güneş Enerjisi

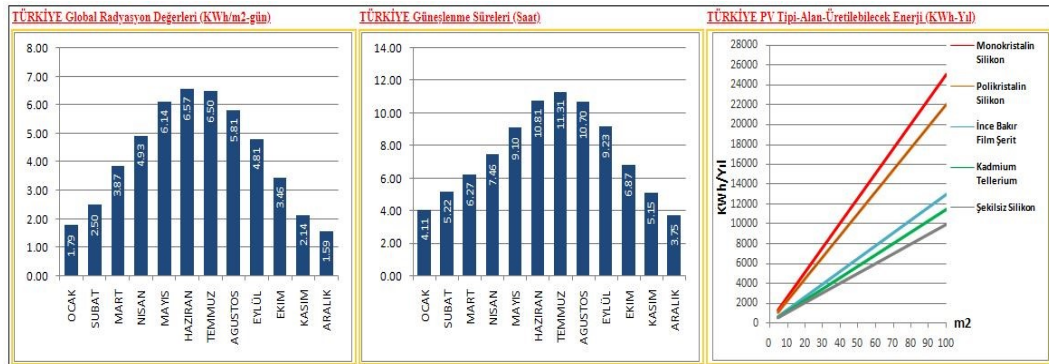
Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre; yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat, günlük ortalama 7.5 saat, yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh.m².yıl ve günlük ortalama 4,18 kWh.m².gün olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası incelendiğinde bölgesel olarak güneşlenme sürelerine bakıldığında Güneydoğu Anadolu Bölgesi 2993 saat/yıl ile ilk sırada yer almaktadır. Sırasıyla Akdeniz Bölgesi 2956 saat/yıl, Ege Bölgesi 2738 saat/yıl, Doğu Anadolu Bölgesi 2664 saat/yıl, İç Anadolu Bölgesi 2628 saat/yıl, Marmara Bölgesi 2409 saat/yıl, Karadeniz Bölgesi 1971 saat/yıl güneşlenme süreleriyle takip etmektedir.

Türkiye enerji piyasası düzenleme kurumunun 2019 yılı aralık ayı sonu itibariyle güneş enerjisi kurulu gücü 5.987 MW olduğunu açıklamıştır (EPDK, 2019).



Şekil 1.13. Türkiye güneş enerji atlası (GEPA)



Şekil 1.14. Türkiye'deki ışınım şiddetleri, güneşlenme süresi ve PV çeşitlerine göre üretilebilecek enerji miktarları (GEPA, 2019)

1.3.1.5. Hidrolik Enerji

Türkiye için elektrik üretiminde %209.20'lik bir değer ile önemli bir yere sahip olan hidrolik enerjinin en yaygın olarak kullanım şekli, nehirler üzerine barajlar inşa ederek suyu biriktirmek ve biriken suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak türbinde elektrik enerjisi üretmektir. Bu amaçla hidroelektrik santrallerden (HES) yararlanılmaktadır (Koç ve Kaya, 2015).

Türkiye'de brüt teorik hidroelektrik potansiyel 433 milyar kWh/yıl, teknik olarak değerlendirilebilir hidroelektrik potansiyel ise 216 milyar kWh/yıl, ekonomik olarak geliştirilen potansiyel ise 160.3 milyar kWh/yıl olup, yeni geliştirilecek projelerle birlikte 2023 yılı sonrasında bu potansiyel yaklaşık 180 milyar kWh/yıl'a ulaşacağı tahmin edilmektedir. 2019 yılı sonu itibarıyla işletmede olan 683 adet Hidrolik santralin toplam kurulu gücü 28.571 MW ve ortalama yıllık üretimi ise 99.6 milyar kWh olup, bu değer toplam geliştirilen potansiyelin yaklaşık %55.4'üne karşılık gelmektedir.

Türkiye'nin teknik olarak hidroelektrik potansiyeli dünya teknik potansiyelinin %1.5'ine, Avrupa teknik potansiyelinin ise %17.6'sına tekabül etmektedir (DSİ, 2018).

1.3.1.6. Biyokütle

Türkiye bir tarım ülkesi olarak 37.712 ha tarım alanına sahiptir. 23.095 ha alan işlenen tarım alanı ve uzun ömürlü bitkilerin alanı olarak kullanılırken, 14.617 ha alan çayır ve mera arazisi, 22.622 ha ise orman alanı olarak kullanılmaktadır (TÜİK, 2020a). Tarımsal faaliyetler sonucu ve orman ürünlerinden atık ve ürün atıkları bakımından bol miktarda kaynağa sahiptir. OECD ülkeleri atıklar bakımından incelendiğinde Türkiye 9.5 MTEP ile dördüncü sırada yer almaktadır. Türkiye'de hububat bitkilerinin katı atık miktarı 39.2-52.3 milyon ton, 3.8-4.8 milyon ton mısır, 1.3-1.5 milyon ton şeker pancarı ve 522-617 bin ton patates katı atık miktarı bulunmaktadır. Bu atıklar farklı biçimlerde işlenerek biyokütle yakıtı olarak kullanılabilir. Ayrıca, zeytincilik atıkları ve yağlı tohum bitkileri de biyokütle bakımından önemli hammaddeleridir (Topal ve Arslan, 2008).

Türkiye tarıma elverişli araziler sahip olması, güneşten yararlanma süresinin uzunluğu ve iklimi gibi coğrafi özellikleri göz önüne alındığında biyokütle yetiştiriciliği bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. Türkiye'de gıda ihtiyacını

karşılmak için kullanılan tarım alanlarından çıkan biyokütle miktarının dışında yaklaşık olarak 135-150 milyon TEP/yıl daha biyokütle potansiyeli olduğu tahmin edilmektedir. Kullanılabilir potansiyelin enerjiye dönüşümü sırasında ve diğer aşamalarda gerçekleşebilecek kayıplar çıkarıldığında kalan net değer 90 MTEP/yıl, ekonomik anlamda bakıldığında ise 25 MTEP düzeyinde üretilebileceği tahmin edilmektedir (Ağaçbiçer, 2010).

Türkiyede enerji ormancılığı bakımından uygun alanların %15'i değerlendirilmekte olup, geri kalan büyük çoğunluk (%85) ise kullanılmamaktadır. Türkiye içerisinde bulunduğu coğrafya ve iklim koşulları sayesinde biyokütle için materyal üretimi açısından, güneşlenme ve alan kullanılabilirliği, su kaynakları, iklim koşulları gibi özellikleri açısından uygun ideal bir ülkedir. Modern biyokütle teknikleri kapsamında, enerji ormancılığı ve enerji bitkileri tarımından yararlanılması ve biyokütle enerjisi kapsamında, çöp termik santralleri de yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) tarafından Türkiye'nin biyokütle enerjisi potansiyelini ortaya koyan Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlasına (BEPA) göre biyokütle atık miktarları Tablo 1.7'de verilmiştir.

Hayvan sayısı(adet)	122.832.374
Hayvansal atık miktarı (ton/yıl)	193.878.079
Hayvansal atıkların teorik enerji eşdeğeri(TEP/yıl)	4.385.371
Hayvansal atıkların ekonomik enerji eşdeğeri (TEP/yıl)	1.084.506
Bitkisel üretim miktarı (ton/yıl)	171.399.002
Bitkisel atık miktarı (ton/yıl)	62.206.754
Bitkisel atıkların teorik enerji eşdeğeri (TEP/yıl)	25.384.268
Bitkisel atıkların ekonomik enerji eşdeğeri (TEP/yıl)	1.462.159
Belediye atık miktarı (ton/yıl)	32.170.975
Belediye atıkların teorik enerji eşdeğeri(TEP/yıl)	3.373.011
Belediye atıkların ekonomik enerji eşdeğeri (TEP/yıl)	485.858
Orman varlığı atıkları (ster/yıl)	3.914.904
Orman varlığı atıklarının enerji eşdeğeri (TEP/yıl)	859.899
Biyokütle kaynaklı elektrik üretim santral sayısı	199
Biyodizel işleme lisansı sahibi firma sayısı	8
Biyooetanol işleme lisansı sahibi firma sayısı	5
Atıkların toplam enerji eşdeğeri(TEP/yıl)	34.002.549

Türkiye biyokütle atlasına göre yılda ortaya çıkan atıkların enerji değeri 34.002.549 TEP olduğu görülmektedir. Ayrıca biyokütle kaynaklı elektrik üretimi yapan 199 adet santral ve 8 adet biyodize, 5 adet biyoetanol tesisi bulunmaktadır.

Türkiye sahip olduğu biyokütle enerji kaynaklarını değerlendirdiği durumda, hem insan sağlığı hem de çevre kirliliğine neden olan atıkların mevcut kullanılan enerji kaynaklarına entegre edilerek enerji ihtiyacının bir kısmını karşılayabileceği görülmektedir. Atıkların biyokütle olarak değerlendirilmeye başlandığında, biyokütle yakıtları birleşik güç, ısı ve soğutma tesislerinde değerlendirilerek yerli kaynaklardan enerji üretiminde ki payının artmasına ve enerjide dışa olan bağımlılığın azaltılması konusunda etkin bir oynayabileceği görülmektedir (Kaplunan, 2017).

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

Boztepe ve Karaca (2009) yaptıkları çalışmada, tarımsal atıkların biyokütle kaynağı olarak değerlendirilmesi ve devlet tarafından bu konunun desteklenmesi sonucunda sera gazına neden olan CO₂ emisyon değerlerinin azalacağı ve bu sayede Kyoto protokolleri anlaşması kapsamında gerekliliklerin yerine getirilmesinin daha kolay olacağını vurgulamışlardır. Ayrıca tarımsal atıkların biyokütle kaynağı olarak kullanılması sonucu arazilerden alınan verimin ve karşılığında elde edilen ekonomik girdinin yeni kazanç olanaklarıyla birlikte daha da kazançlı hale geleceği ve köyden şehre olan göçün önüne geçilebileceği öngörüsünde bulunmuşlardır.

Atımtay ve Topal (2004) yaptıkları çalışmada, hava kabarcıklı bir akışkan yatakta, zeytin yağı endüstrisi atığı olan prina, meyve endüstrisi atığı olan kayısı ve şeftali çekirdekleri, ayçiçeği ve pamuk yağı endüstri atıkları olan ayçiçeği posası ve pamuk çığıdi posası atıklarını kullanarak yanma özellikleri, Dolaşımli Akışkan Yatak (DAY) sistemi ile de kömür ile karışımında ki yanma değerlerinin ölçülmesi ve yanma esnasında CO, CO₂, NO_x, SO₂ ve toplam hidrokarbon (CmHn) emisyon değerlerini belirlemişlerdir. Hava kabarcıklı akışkan yatak sisteminde yapılan denemelerde kullanılan materyallerin yanma sonucunda içindeki uçucu maddelerin çok kısa sürede uçtuğu ve bu uçucuların çoğunlukla yatağın üst kısmında yandıkları gözlenmiştir. Yatakta ve yatağın üst kısmında ölçülen sıcaklık değerlerinin yüksek olmasının bu durumun ispatı olarak görmüşlerdir. Ayrıca dolaşımli akışkan yatak sistemi kullanarak linyit kömürü ile birlikte biyokütle karıştırılarak yanma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Yakma esnasında biyokütle miktarının artması yanma işleminin genel olarak yatağın üst kısımlarındaki hacimde (freeboard) gerçekleştiğini ve bunun yanı sıra yanma gazlarındaki CO ve (CmHn) emisyonlarında da önemli bir artış olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen verilere bakıldığında, KAY sisteminde kömür, şeftali çekirdekleri ve kayısı çekirdekleri için yanma verimleri sırasıyla %98.8-99.1, %96.0-97.5, %93.4-96.3 arasında değişmekte olduğunu belirlemişlerdir. Kömürün biyokütle ile birlikte yakılması sonucunda ikincil bir hava ihtiyacını ortaya çıkaran yüksek miktarda CO ve (CmHn) emisyonları ortaya çıkmıştır. Kömürün SO₂ emisyonu 2400-2800mg.Nm⁻³ limitleri arasındayken çalışmada kullanılan biyokütle yakıtları için SO₂ emisyon değerinin sıfır olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmada farklı yakma işlemlerinin tamamında NO_x emisyonları, Türk Hava Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği (1986) tarafından belirlenen sınır değerlerin

altında olduğunu bildirmişlerdir. Çalışma sonunda kullanılan biyokütle atıklarından elde edilen enerjisi değerlerinin linyit kömürü ile rekabete girebilecek bir enerjiye sahip olduğu ve bu materyallerin yakılması için kullanılan akışkan yatak sisteminin, özellikle Dolaşım Akışkan Yatak sisteminde biyokütleden yakılarak enerji elde edilmesi için çok uygun bir sistem olduğu, CO₂ değerinin azalıp Kyoto protokolüne uyumunu sağlanacağını belirtmişlerdir.

Acar ve vd (2016) tarafından yaptıkları çalışmada, tarımsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan 8 farklı ürün (çay fabrikası atıkları, çeltik sapı, çeltik kavuzu, fındık zurufu, ayçiçeği, mısır, buğday ve kolza sapı) atığından briket ve peletler üretmişlerdir. Yaptıkları denemeler sonucunda elde edilen ilk verilerde özellikle nemli bölgeler için yaz aylarında materyallerin briketlenmesi için en uygun olan zaman olduğunu belirtirlerken peletleme için bu durumun önemli olmadığı hatta bazı durumlarda nemlendirme yapılabileceğini belirtmişlerdir. Daha sonra üretilen briketlerin mekanik dayanıklılık testler sonucu, kül içeriği ve baca gazı emisyon değerlerini belirlemişlerdir. Yapılan testler sonucu briketlerin yanma sonrasında ısı değerlerini karşılaştırdıklarında çeltik kavuzu ve çeltik sapı (3000 cal.g⁻¹) hariç diğer materyallerin 4000 cal.g⁻¹ ve üzerinde bir ısı değere sahip oldukları ve bu altı materyal içerisinde 4639 cal.g⁻¹ ısı değeri ile çay atıklarından elde edildikleri belirtmişler ve kül içeriklerinin ise %5.7 - 9.76 arasında değiştiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca çeltik kavuzu ve çeltik sapının ısı değerlerinin bile ülkemizde çoğunlukla kullanılan kömürlerin (%90) ısı değerinden daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Kullanılan materyaller için belirlenen ısı değerlerinin kabul edilebilir en düşük ısı değeri (4000 cal.g⁻¹) üstünde olduğunu ve dolayısıyla ürünlerin yakacak olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymuşlardır. Kullanılan materyallerin yanma sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değerleri ölçüldüğünde kullanılan bütün materyaller için SO₂, CO ve CO₂ değerlerinin belirlenen standartlar altında olduğunu belirtmişlerdir. NO değeri bakımından materyaller karşılaştırıldığında mısır sapı ve çay tozu hariç diğer atıkların uluslararası standartlarda belirtilen limitin altında olduklarını belirlemişlerdir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında ise tarımsal faaliyetler sonucu açığa çıkan atıkların gerek çevre kirliliğini önlemede gerekse ülkede yaygın olarak kullanılan linyit kömürüne oranla baca gazı emisyonları açısından daha avantajlı ve temiz bir enerji kaynağı olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır.

Demirel (2015) yaptığı çalışmada, üç farklı materyal (findık zurufu, mısır sapları ve ayçiçeği) kullanılarak öğütülmüş ham materyallerin ve hidrolik tip briket makinesi ile farklı nem içeriklerinde (%8-10 ve %13-15), farklı öğütme inceliklerinde (2-5 mm ve 7-10 mm) ve farklı sıkıştırma basınçlarında (80 ve 160 MPa) elde edilen briketlerin mekanik dayanıklılık, kül ve baca gazı emisyon değerlerini belirlemiştir. Yapılan denemeler ve yapılan testler sonucunda yaş bazda hacim ağırlığının $936 - 1216 \text{ kg.m}^{-3}$ arasında değiştiğini, materyal nem içeriğinin ve sıkıştırma basıncının etkisinin önemli olduğunu belirtmiştir ($P < 0.01$). Düşme dayanıklılık ve kırılma direnci olarak en düşük değerin %8-10 nem içeriğine sahip, 7-10 mm öğütme inceliğinde ve 80 MPa sıkıştırma basıncında sırasıyla %44.70 ve %76.20 olarak findık zurufuna ait briketlerden elde etmiş ve hem mısır sapından hem de ayçiçeğinden elde edilen briketlerden mekanik dayanıklılıkları bakımından oldukça yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Briketlerin, yanma verimi olarak değerlendirildiğinde findık zurufundan elde edilen briketler için ortalama %71, mısır sapından elde edilen briketler için %69, ayçiçeği sapından üretilen briketleri için ise %65 olarak değerler elde etmiştir. Ayrıca üç farklı materyal alt ısı değer olarak karşılaştırıldığında ise 18.49 MJ.kg^{-1} en yüksek alt ısı değer ile %8-10 nem içeriğine sahip findık zurufu briketlerinde elde etmiş, en düşük alt ısı değeri ise 15.32 MJ.kg^{-1} değere sahip %13-15 nem içeriğine sahip ayçiçeği sapı atıklarından elde edilen briketlerden elde edildiğini ifade etmiştir. Çalışmada kullanılan tarımsal atıkların kül içeriği bakımından incelendiğinde ise nem oranına bağlı olarak %13-15 nem aralığında ki ayçiçeği sapından %19.01 değeri ile elde edilirken, en düşük kül içeriği ise %8-10 nem içeriğinde findık zurufundan elde edilmiştir (%8.47). Yapılan çalışma sonunda Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde (IKHKKY) uyulması gereken sınırlar altında olduğu ve dolayısıyla da kullanılan üç farklı materyalden elde edilen briketlerin çevre dostu ve temiz enerji kaynağı olduğu sonucuna varmıştır.

Seven (2014) yaptığı çalışmada, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 100 bin ton/yıl atık miktarı ile 1591 GJ enerji potansiyeline sahip ve yetiştiriciliği yaygın olarak yapılan pamuk ve çırçır atığının hayvansal yağ karışımından elde edilen briketlerin yanma verimlerini incelemiştir. Karışımların briketlenmesi için gerekli olan minimum sıkıştırma basıncının 90 MPa olduğunu belirtmiştir. Ayrıca karışımlarda kullanılan atıkların ve hayvansal yağların değişik yüzdelik karışımının %0-25 olması gerektiğini ortaya koyarak elde edilen briketlerin ısı değerlerinin ise $3847-5295 \text{ cal.gr}^{-1}$

¹ olduğunu belirtmiş ve ısı değerlerinin yağ oranına bağlı olarak artış gösterdiğini gözlemlemiştir. Yine aynı şekilde karışım içerisinde ki yağ oranına bağlı olarak NO ve NO_x değerlerinin baca gazı ölçümlerinde yükselip azaldığını belirtmiştir. Briketlerde ki yağ oranının %20'yi geçmediği durumlarda baca gazı emisyon değerleri incelendiğinde Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde belirtilen değer altında olduğu ve ayrıca yanma sonucu SO₂'nin açığa çıkmadığını belirtmiştir. Fakat yağ oranının %20 ile %25 olduğu durumlarda ise CO ve SO₂ değerlerinin belirtilen limitler üzerine çıktığını vurgulamıştır.

Demirbaş (1999) yaptığı çalışmada kullanılan atık kağıt ve buğday samanı karışımından hidrolik pres kullanılarak elde edilen briketler mekanik dayanıklılık, basma gerilmesi (mukavemeti), nem içeriği ve yoğunluğu üzerine briketleme basıncının etkileri farklı sıkıştırma basınçlarında (300, 400, 500, 600, 700, ve 800 MPa) incelemiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda ise uygun olan nem içerikleri ve briketleme basınçları, atık kağıt için %18 nem ve 780 MPa briketleme basıncı, buğday samanı içinse %22 nem içeriği ve 710 MPa sıkıştırma basıncı değerlerinin en uygun değerler olduğunu belirtmiştir. Ayrıca %20 kağıt atığı içeren atık kağıt+saman karışımı için ise %18 nem ve 750 MPa sıkıştırma basıncı bulunmuştur. Ayrıca kâğıt atıklarının herhangi bir yapıştırıcı kullanılmadan briketlenebileceğini belirtirken, buğday samanının briketlenmesi esnasında ise yapıştırıcı madde ilave edilerek briketlenebileceğini belirlenmiştir. Sonuç olarak nem içeriği, yoğunluk ve mukavemet gibi fiziksel değişkenlerin briket kalitesini tanımlayan ve etkileyen en önemli faktörler olduğunu belirtmiştir.

Dok vd (2018) yaptıkları çalışmada, kivi budama atıklarının 150 bar basınç altında, %10-15 nem içeriği arasında ve 2, 4 ve 6 mm parçacık boyutlarına kadar öğütülmüş materyalden elde edilen briketlerin yakıt özelliklerini karşılaştırmışlardır. Denemeler sonucunda kivi budama atıklarından elde edilen briketlerin fiziksel özellikleri bakımından incelendiğinde genel olarak ağaç tozundan elde edilen briketlerle benzer özellikler gösterdiği, bazı özellikleri bakımından kıyaslandığında ise daha kaliteli olduğunu vurgulamışlardır. Fakat parçacık boyutu yönünden kıyaslandığında ise bazı fiziksel özelliklerin değişebileceği sonucuna varmışlardır. Kivi budama atığından elde edilen briketlerin parçacık boyutları küçüldükçe dayanıklılık dirençlerinin arttığı fakat ağaç tozunda ise burumun aksi yönde olduğunu belirtmişlerdir ancak parçacık boyutlarının çok büyük olduğu durumlarda sağlam

briketler elde edilememiş 4 mm parçacık boyutunun ideal parçacık boyutu olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca 4 mm parçacık boyutunda elde edilen ağaç tozu briketlerinden en yüksek briket yoğunluğu elde edilmiştir. Briketlerin su alma dirençlerini karşılaştırdıklarında ise ağaç tozu için 4 mm, kivi buda atıklarının ise 6 mm parçacık boyutlarında belirlendiğini ortaya koymuşlardır. Sıkıştırma dirençleri bakımından incelendiğinde ise parçacık boyutlarına her iki materyal için 2 mm parçacık boyutlarında en zayıf briketler elde edilmiştir. Sonuç olarak briketlerin parçacık boyutlarının küçülmesi sıkıştırmaya karşı gösterdikleri direncin azaldığını vurgulamışlardır.

Hatipoğlu ve Karaca (2018) yaptığı çalışmada materyal olarak çeşitli işletmelerden alınan pirinaları harflendirerek (P) isimlendirmiş ve ayrıca;

P₁₁, P₁₂, P₁₃:Prina işleme lisansına sahip X firması

P₂₁, P₂₂, P₂₃:Prina işleme lisansına sahip Y firması

P₃₁, P₃₂, P₃₃:Prina işleme lisansına sahip olmayan lisanssız briket üreten üç farklı firmadan alınan materyaller kullanılarak 9 farklı örnekle çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda ısı değer bakımından P₃ briketlerinin belirlenen Avrupa Birliği standartları içerisinde yer aldığı, diğer materyallerin ise standartlara uygun olmadığını belirtmiştir. Ayrıca briketlerin özgül kütle değerlerine bakıldığında genel olarak değerlerin belirtilen standartlara yakın olduğu fakat P₁ ve P₂ materyallerinin diğerlerinden daha yüksek olduğunu belirtmiştir. P₁ ve P₂ değerleri için ayrıca su alma direncine karşı daha dirençsiz olduğunu belirlemiştir. Briketlerin deformasyon kuvvetleri bakımından karşılaştırıldığında lisanslı üretim yapan firmalardan alınan numunelerden elde edilen briketlerin kalitesinin çok iyi olduğu buna karşın lisanssız üretim yapan firmaların numunelerinden elde edilen briketlerde tam tersi bir durum olduğunu vurgulamıştır. Elde edilen briketler kül içeri yönünden bakıldığında ise genel olarak sonuçların sınırlar içerisinde olduğu fakat P₃₃ briketinin kül içeriği yüksek bulunmuş bu durumun da briketlerin ısı değerlerine olumsuz etki olarak yansıdığını belirtmiştir. P₃₃ briketleri için ayrıca C içeriği bakımından %39 oranıyla diğer çalışmalar ve standartlara göre daha düşük olduğunu ifade etmiştir. Diğer numunelerden elde edilen briketlerin C değeri ise birbirlerine yakın ve standartlar içerisinde olduğu H, N ve S değerlerinin ise tüm numune örneklerinden elde edilen briketler için standartlar altında olduğunu belirlemiştir. O₂ içeriği içinse P₃₁ ve P₃₂ örnekleri için sırasıyla %40.4 ve %36.1 oranlarıyla diğer örneklerden ve literatürde belirtilen sınır değerlerinden daha düşük çıktığını ortaya koymuştur.

Mani vd (2006) tarafından yapılan çalışmada, parçalanmış mısır saplarının hidrolik tip briket makinesinde farklı sıkıştırma basınçlarında (5, 10, 15 MPa ve nem içeriklerinde (%5, 10, 15) sıkıştırılarak 32 mm çapında ve 20-25 mm uzunluğuna sahip briketler elde etmişlerdir. Briketleme için gerekli olan enerji ihtiyacının 12-30 MJ arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Briket yoğunluğunu uygulanan basıncın artışına bağlı olarak 650-950 kg.m⁻³ arasında olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca nemin briket yoğunluğu ve dayanıklılık için önemli bir etken olduğunu ifade etmişlerdir.

Karaca ve Başçentinçelik (2011) tarafından yapılan çalışmada, Hatay ilinde önemli bir ticari değere sahip olan defne (*Laurus nobilis* L.) yaprağının, briketlenerek fiziksel özellikleri, ısı değerleri ve elementel özelliklerini belirleyerek, Avrupa Birliği standartları uygunlukları değerlendirilerek alternatif enerji kaynağı olma olasılığını araştırmışlardır. Yapılan çalışma hidrolik tip briketleme makinesi kullanılarak dış çapı 57 mm ve merkez delik çapının 25 mm olan briketler elde edilmiştir. Elde edilen briketler için özgül enerji tüketimi 0.05 kWh.kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Ayrıca ortalama briket özgül kütlesi 1336 kg.m⁻³ olarak bulunmuş ve briketlerin kırılma direnci 4713 N, kül içeriği %6.8, alt ısı değeri 19 MJ.kg⁻¹ ve uçucu madde içeriğinin ise %78.4 olarak belirlendiğini vurgulamışlardır. Briketlerin yanma sonucunda ortaya çıkan en yüksek CO emisyonu ise 91 ppm olarak ölçüldüğünü belirtmişlerdir.

Karaca ve Başçentinçelik (2011), tarafından yapılan çalışmada, Çukurova Bölgesi'nde yerfıstığı kabuğunun briketlenerek alternatif yakıt oluşturulması amaçlanmış, briketlerin fiziksel özellikleri, ısı değerleri ve elementel özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca briketlerin yanma emisyon değerleri ölçülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda bölgede fıstık kabuğu atıklarının, yıllık toplam 23 bin ton'luk bir potansiyeli oluşturduğu belirlenmiştir. Atıkların briketlenmesi için 15 KW gücünde bir elektrik motoruyla çalışan konik kalıplı helezon tip briketleme makinası kullanılmıştır. Briketlerin ortalama özgül kütlesi 1573 kg.m⁻¹ olarak bulunmuştur. Briketlerin, kırılma direnci 4555 N, üst ısı değerleri 19.57 MJ.kg⁻¹, kül içeriği %6.64 ve uçucu içeriği %78 olarak belirlenmiştir. Briketlerin en yüksek CO emisyonu 1773 ppm olarak ölçülmüştür. Defneyaprağı için baca gazı emisyonları için CO, CO₂, SO₂ ve NO_x değerlerinin Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde (IKHKKY) belirtilen değerlerinin çok altında olduğu ve dolayısıyla enerji bakımından dışarıya bağlı olan ülkemizin dışa bağımlılığının azalması konusunda artı bir değer katacağını belirtmişlerdir.

Akman (2012) tarafından yapılan çalışmada, Isparta bölgesinde yoğun olarak yetiştiriciliği yapılan gülden gül yağı elde edilene kadar tesislerde yapılan çeşitli işlenmesi sonucunda ortaya çıkan atıkların alternatif katı yakıt olarak kullanılması için briketlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada briketleme işlemi için 350 MPa maksimum sıkıştırma basıncına sahip hidrolik tip briket makinesi ve yüksekliği 150 mm, iç çap ölçüleri 60-80 mm olan silindirik kalıplar kullanılarak briketler elde etmiştir. Denemelerde materyalin nem içeriğinin %83.34 olarak belirlenmiştir. Briketleme işlemi 35 MPa sıkıştırma basıncında, 30 saniye basınç uygulama zamanında ve çevre şartlarında gerçekleştirilmiş ve briketleme işlemi için materyal ön işleme tabii tutulmamıştır. Gül yağı işleme atıkları kömür tozu ile 4 farklı oranlarda (%100 gül yağı atığı, %75 gül yağı atığı, %25 kömür tozu, %50 gül yağı atığı - %50 kömür tozu, %25 gül yağı atığı - %75 kömür tozu) karıştırılarak briketlenmiştir. Briketlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak yoğunluk, düşme-dayanıklılık direnci (tumbler direnci), kırılma direnci (shatter direnci), su alma direnci, hava nemi direnci (eşdeğer nem içeriği) baca gazı emisyon değerleri belirlenmiştir. Çalışma sonunda 100 mm yüksekliğinde, 60 mm deliksiz ve 80 mm çapında 20 mm merkezi delikli briketler elde edilmiştir. Briketlerin yoğunlukları yaş baz da 1239-1274 kg.m⁻³ arasında değişmiştir. Fiziksel testler sonunda en düşük kırılma direnci (shatter direnci), düşme dayanıklılık direnci (tumbler direnci), hava nemi alma direnci ve 1.dakika sonunda su alma direnci sırası ile %95.24, %30.45, %97.37 ve %60.64 olarak belirlenmiştir. Yanma sonucu ölçülen baca gazı emisyon değerlerinin ısınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde belirtilen sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan Trabzon Hurması Budama Atıkları ve Özellikleri

Bu çalışmada, Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri bölümü deneme alanından temin edilen Trabzon Hurması budama atıkları kullanılarak briketlenmiştir. Çalışmada, öncelikle briketlenecek materyal olarak, Karadeniz Bölgesinde yoğun olarak bahçe bitkileri budama faaliyetleri sonucu açığa çıkan Trabzon Hurması budama atıkları kullanılmıştır. Dal parçaları veya odunları gerek hasat ve bakım sonucunda gerekse ağaç dallarının kurumamasıyla birlikte kırılarak örtü tabakaya düşen odunsu atıklardan oluşmaktadır. Budama zamanı, Trabzon Hurması ağacının sağlıklı gelişimini, verimini ve ağaçların ekonomik ömrünü etkileyen faktörlerin en önemlilerinden biridir. Budama kış ve yaz olmak üzere iki ayrı ve zıt mevsimlerde yapılmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Budama sonrası bazı atık resimleri

Yapılan çalışmalar, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü laboratuvarları ve Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü içerisinde yer alan, Enerji Tarımı Araştırma Merkezi Biyoyakıt ve Biyokütle bölümlerinde yapılmıştır. Çalışmada, materyal olarak tarımsal işlemler sonucu ortaya çıkan Trabzon hurması budama atıkları kullanılmıştır (Şekil 3.2). Materyalin briketlenmesi esnasında içerisine yapıştırıcı olarak herhangi bir madde katılmamıştır.



Şekil 3.2. Trabzon hurması budama atıkları

Briketleme işlemleri için 2 farklı nem içeriğinde ve üç farklı öğütme inceliğine sahip materyal kullanılmıştır. Dört farklı sıkıştırma basınçlarında elde edilen briketlere ait en uygun fiziko-mekanik özelliklerinin yanı sıra yanma sonucu ortaya çıkan gaz emisyon değerleri ve ısı değerleri tespit edilmiştir.

Türkiye’de bahçe bitkilerinin hasatı yapıldıktan sonra veya ağaçların belirli aralıklar da bakımı için yapılan budama işlemleri sonrası kalan atıklar, çiftçiler tarafından bahçenin bir tarafında toplanarak çürümeye bırakılmakta veya yakılmak suretiyle imha edilmektedir. Tarımsal atıkların doğrudan yakılması sonucu toprakta bulunan faydalı mikroorganizmaların yok olmasına neden olmaktadır. Ayrıca çevre kirliliğine neden olmasının yanında enerji kaynağı olan biyokütle hammaddesinin yok olmasına neden olmaktadır.

3.1.2. Öğütme İşlemi

Denemelerde kullanılacak olan Trabzon hurması budama atıkları, budama işlemleri sonrası oluşan dal parçaları ve odunsu kısımları briketleme işlemi için uygun parçacık boyutlarına sahip değildir. Dolayısıyla materyal briketleme için uygun olan parçacık boyutlarına (3, 5 ve 8 mm) küçültülmesi gerekmektedir. Materyalin istenilen parçacık boyutuna getirilmesi işlemi için 3 kW gücünde 8 bıçaklı 2800 d.d⁻¹ dönüş hızına sahip çekiçli tip değirmen kullanılmıştır (Şekil 3.3). Öğütme işlemleri için çekiçli değirmene takılabilen 3, 5 ve 8 mm delik çapına sahip elekler yardımıyla briketlenecek materyalin öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4). Öğütme işlemlerinden sonra materyalin havadaki neme maruz kalmaması ve çevresel etkenlere bağlı olarak su almaması için hava geçirmez bir torba yardımıyla depolanmıştır.



Şekil 3.3. Trabzon hurması budama atıklarının farklı öğütülme incelikleri için kullanılan çekicli değirmen



Şekil 3.4. Trabzon hurması budama atıklarının öğütülmesi

3.1.3. Briketleme Makinesinin Özellikleri

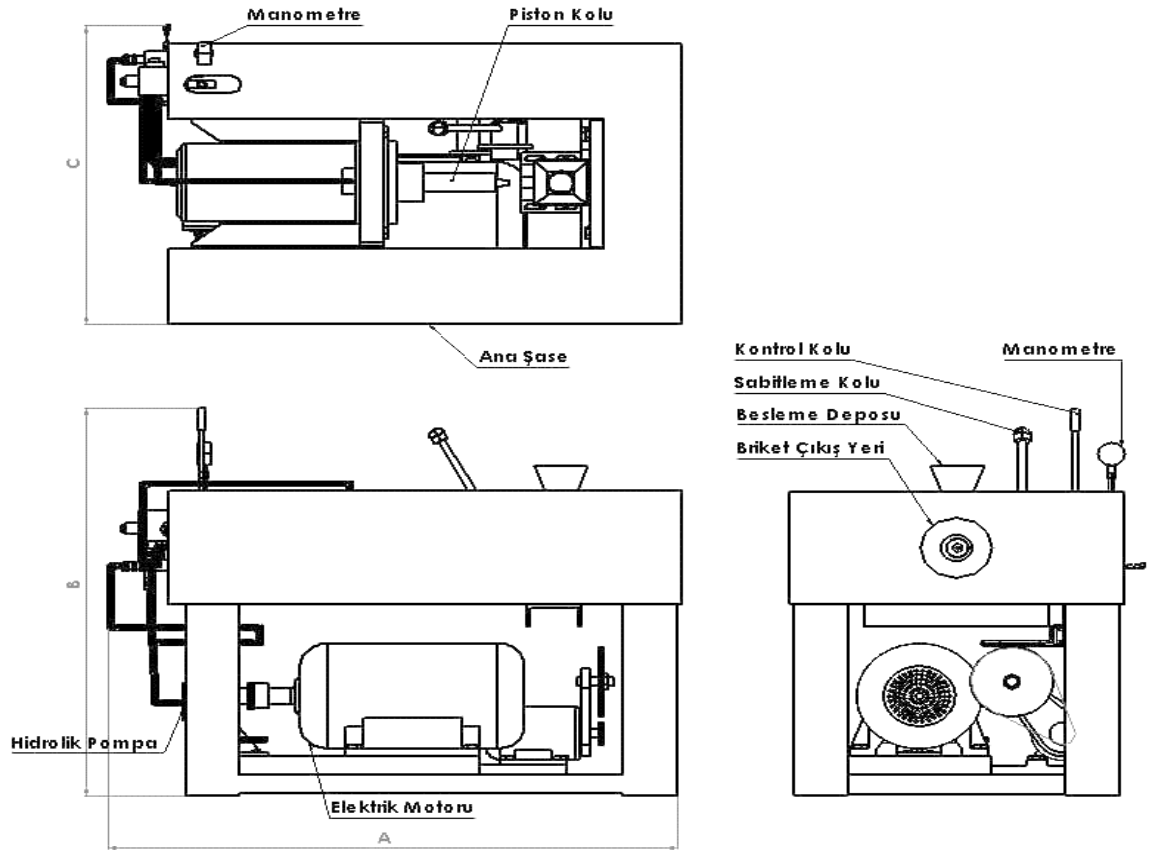
Bölümümüz Öğretim Üyesi Prof. Dr. Mehmet Arif BEYHAN tarafından tasarlanıp, imal edilen ve sıkıştırma basıncı 0–400 MPa arasında ayarlanabilen hidrolik tip pres makinesi kullanılmıştır. Materyalin istenilen basınçlarda briketlemesi için gerekli olan basınç değerleri makine üzerinde bulunan manometre yardımıyla kontrol edilmektedir. Örneğin 1. Sıkıştırma basıncı için yağ basınç değerinin manometre üzerindeki değeri 80 MPa olarak ayarlandığında pistonun materyale uyguladığı basıncın 80 MPa olduğu ölçülmüştür.

Materyalin briket üretimi için belirlenen basınç altında ileri geri hareket eden bir piston yardımıyla bir kalıp çerisinde sıkıştırılmakta ve materyal kalıp içerisinde ötelenme hareketi ile yol almaktadır. Hidrolik tip briketleme makinesi $1.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ debiye sahip bir hidrolik pompa ve 25 litrelik hacme sahip hidrolik yağ deposu bulunmaktadır. Makinenin strok mesafesi 310 mm, strok hızı 80 MPa sıkıştırma basıncı için $8 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ve 160 MPa sıkıştırma basıncı için $10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Makine dış gövde ölçüleri olarak 1280x1155x740 (AxBxC) mm ölçülerine sahiptir. Makine sağ ön yüzeyinde bulunan start-stop düğmesi yardımıyla

hidrolik pompanın çalıştırılması ve durdurulması sağlanmaktadır. Briketleme makinesinde bulunan hidrolik pompa hareketini 15 kW gücünde olan üç fazlı elektrik motorundan yıldız/üçgen bağlantı yardımıyla almaktadır ve kalıp ısıtıcısı kullanılmamıştır. Materyalin istenilen değerlere uygun bir şekilde sıkıştırılabilmesi için briketlerin çıkacağı ön kısma 125x105 mm dış ölçülerine ve 30 mm et kalınlığına sahip dikdörtgen şeklinde bir plaka yerleştirilmiştir. Bu plaka 0.9 kW gücüne sahip elektrik motorundan gücünü alarak plaka aşağı ve yukarı yönde hareket etmektedir. Materyalin briketleme işlemi bittikten sonra briketlenen materyalin kalıp içerisinden dışarı çıkışı için plaka aşağı yönde hareket ettirilir ve materyal çıkış ağzı açılmasıyla briketin dışarı çıkışı sağlanmaktadır. Kalıp içerisinde ki briketin dışarı atılması esnasında kullanılan kalıbın yerinde hareketini kısıtlayıp sabit olarak durmasını sağlayan sabitleme kolu yapılmıştır. Trabzon hurması budama atıklarınının briketlenmesi için kullanılan hidrolik tip briketleme makinesinin genel görünümü Şekil 3.5 ve ana elemanları Şekil 3.6'de verilmiştir (Demirel, 2015).

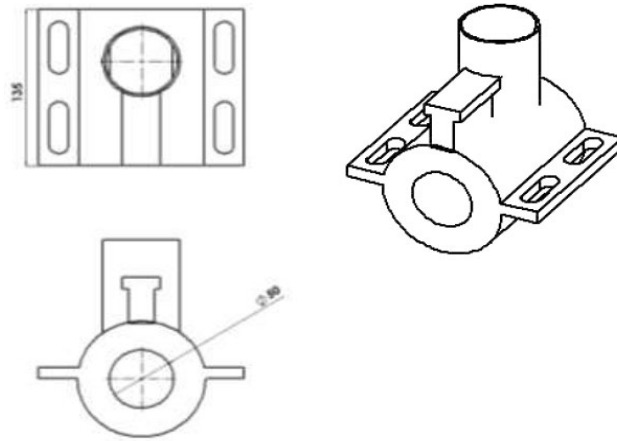


Şekil 3.5. Hidrolik tip briketleme makinesi



Şekil 3.6. Hidrolik tip briketleme makinesinin ana parça ve elemanları

Denemeler sonucunda briketler içi dolu olarak elde edilmiştir. Silindirik şekilde ki kalıbın uzunluğu 135 mm, iç çapı 50 mm ve et kalınlığı 25 mm'dir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Atıkların briketlenmesi için kullanılan kalıp

3.1.4. Denemelerde Kullanılan Diğer Alet ve Ekipmanlar

Briketler mekanik dayanıklılık dirençlerinin belirlenmesi için, ASAE S269.4 standardına göre yapılmış, test düzeneğine 5 adet briket yerleştirilmiştir. Briketlerin test düzeneğine yerleştirilmeden önce ağırlığı tartılıp kaydedilmiştir. Daha sonra

briketler 3 dakika süreyle 40 min^{-1} ile test düzeneğinde döndürülmüştür (Şekil 3.8). Döndürme işleminin sonunda briketler dışarı alınarak tekrar tartılmış ve kütleleri kaydedilmiştir. Test sonucunda briketlerde meydana gelen kütle kaybına bağlı olarak mekanik dayanıklılık (tumbler) direnci yüzde olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.8. Mekanik dayanıklılık test düzeneği

Briketlerin sertlik değerlerinin ölçümünde bilgisayardan ve manuel olarak kontrol edilen mikrotest marka basınç dayanım test cihazı (Şekil 3.9) kullanılmış ve kapasitesi 50000 N dur.



Şekil 3.9. Basınç dayanım test cihazı

Briketlerin yakılması sonucu atmosfere bırakılan baca gazı emisyonlarının ölçülmesi için baca gazı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Baca gazı ölçüm cihazı; analizör ünitesi, el kontrol ünitesi ve ölçüm probundan oluşmaktadır (Şekil 3.10). Baca gazı ölçüm cihazına ait teknik özellikler Tablo 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.10. Baca gazı ölçüm cihazı ve parçaları

Tablo 3.1. Baca gazı emisyon ölçüm cihazına ait teknik özellikler

Ölçüm Aralıkları	
O ₂	:0.....+%25 ppm (hacimsel)
CO	:0.....+10.000 ppm
CO ₂	:0.....CO ₂ maks. (O ₂ hesabı ile)
NO	:0.....+ 3.000 ppm
NO ₂	:0.....+ 500 ppm
SO ₂	:0.....+ 5.000 ppm
H ₂ S	:0.....+ 300 ppm
Fark Basıncı 1	: ± 200 hPa
Fark Basıncı 2	: ± 40 hPa
Baca Gazı Sıcaklığı	: -40 °C.....+1200°C
Hız Ölçümü	:0.....+40 m.s ⁻¹
Verimlilik	:0.....%120
Baca Gazı Kaybı	:-20.....+99.9
Gaz Örnekleme Pompası Akış Hızı	:0.8 m.s ⁻¹

Denemeler Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü bünyesinde bulunan Enerji Tarımı Araştırma Merkezinde yaptırılmış. Baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi için briketlerin yakılmasında evsel ısıtmalarda kullanılan şömine tipi soba kullanılmıştır (Şekil 3.11), kullanılan sobaya ait özellikler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Baca gazı emisyon ölçümleri için kullanılan şömine tipi soba

Ürün Parametresi	Özellikleri
Model	Anatolia
Güç (kW)	8
Verim (%)	72
Kütle (kg)	74
Isıtma alanı (m ²)	80
Ölçüler (mm)	585x855x420



Şekil 3.11. Briketlerin yakılması için kullanılan şömine tipi soba

Briketlerin alt/üst ısı değerlerinin belirlenmesi amacıyla ilgili analizler Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü bünyesinde bulunan Enerji Tarımı Araştırma Merkezinde yapılmış ve ısı değerler Oksijen Tüpü ve Manometre ve ASTM D 5865–04 standardına göre IKA marka C 200 model kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenecektir. Kalorimetre analizi için örnek hazırlamada IKA C 240 oksijen dolum makinesi kullanılarak yapılmıştır (EN 14918) (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Kalorimetre cihazı

Denemelerde Trabzon hurması budama atıklarının nem içeriğinin belirlenmesinde kurutma fırını (etüv) (a) ve briket kül içeriklerinin belirlenmesi için kül fırını (b) kullanılmıştır. Tarımsal atıkların ve briketlerin tartılmasında maksimum tartım ağırlığı 1 kg olan ve 0.01 g hassasiyetinde elektronik terazi (c) kullanılırken, briket boyutlarının belirlenmesinde 0.01 mm hassasiyetinde dijital kumpas (d) kullanılmıştır. Makinenin iş başarısının belirlenebilmesi için kronometre kullanılmıştır (e). Yapılan bu denemeler Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü bünyesinde bulunan Enerji Tarımı Araştırma Merkezinde yapılmıştır.



a. Kurutma fırını (ETÜV)



b. Kül fırını



b. Hassas terazi



d. Dijital kumpas



e. Kronometre

Şekil 3.13. Kullanılan diğer cihaz ve ekipmanlar

3.2. Metot

3.2.1. Trabzon Hurması Budama Atıklarının Briketlenmesi

Trabzon Hurması budama atıklarının briketleme işlemi için, sıkıştırma basıncı 0-400 MPa arasında ayarlanabilen hidrolik tip bir briketleme makinesi kullanılmıştır. Briketleme için kullanılan materyalin nem içeriği %12 ve %15 olmak üzere iki farklı neme sahiptir. Bu çalışmada 80, 120, 160 ve 200 MPa olmak üzere 4 farklı sıkıştırma basıncında, çapı 50 mm, uzunluğu 75-100 mm arası değişen (D50, L75-100) briketler elde edilmiştir.

Elde edilen budama atıkları, briketleme öncesi güneş altında kurutulmaya bırakılmıştır. Materyalin kuruma süresinin hızlandırılması amacıyla budama atıkları cam sera içerisine taşınmıştır. Budama atıklarının istenilen nem değerlerine (%12 ve %15) ulaştıktan sonra toplanan materyal istenilen parçacık boyutlarına (3, 5 ve 8 mm) küçültülmek için çekiçli değirmen yardımıyla öğütülmüştür (Şekil 3.14). Belirlenen nem ve öğütme inceliğinde ki materyal hidrolik tip briketleme makinesi kullanılarak briketlenmiştir.



Şekil 3.14. Trabzon Hurması budama atıklarının öğütülmesi

Briketleme işlemi esnasında materyal haznesinden belirli aralıklarla tıkanmaması için materyal besleme işlemi yapılmıştır. Materyal haznesinden içeri dökülen atıklar, bir piston yardımıyla silindir biçiminde ki kalıp içerisine doğru itilerek sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Yapıştırıcı madde kullanılmadan sıkıştırılan materyalde genleşme olmaması için 25 saniye boyunca pres uygulamaya devam edilmiştir. Briketleme işleminin sonucunda 50 mm çapta ve 75-100 mm uzunlukları arasında değişen briketler üretilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Trabzon Hurması budama atıklarından üretilen briketler

Briketleme işlemleri esnasında uyulması gereken ve dünya tarafından kabul edilen standartlar AB tarafından 2011 yılında EN 14961 adıyla yayınlanmıştır. Avrupa birliğinin yayınladığı standartlara göre briketme için kullanılacak olan parametreler ve standartlar EN 14961-3 (Tablo 3.3) numaralı başlık altında 3 farklı grupta incelenmiştir.

1. ENplus-A1: Kimyasal olarak işlenmiş odun atıkları.
2. ENplus-A2: Kerestecilik atıkları, sanayi faaliyetleri sonucu açığa çıkan odun kabukları, bütün köksüz ağaç.
3. EN-B: Orman, ağaçlandırma ve diğer saf odunlar, ağaç işleme sanayi atıkları ve yan ürünleri, kullanılmış ahşap.

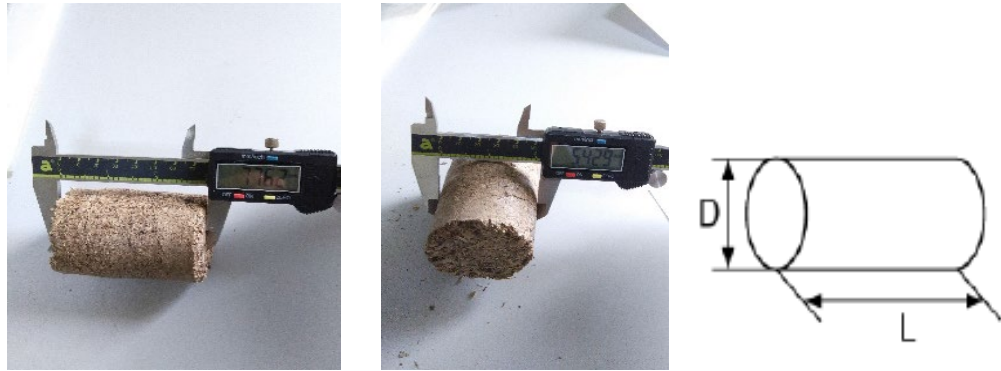
Tablo 3.3. Briketleme standartları EN 14961-3

Parametre	ENplus-A1	ENplus-A2	EN-B	Standart
Ölçüler(mm)				EN16127
Nem içeriği(%)	<12	<15	<15	EN14774-1
Kül içeriği(%)	<0.7	<1.5	<3	EN14775
Dayanıklılık(%)	> 95	>95	>95	EN15210-2
Parçacık yoğunluğu(g.cm ³)	> 1	> 1	> 0.9	EN15150
Katkı maddesi(%)	< 2	< 2	< 2	
Isıl değer(MJ.kg ⁻¹)	Q>15.5	Q>15.3	Q>14.9	EN14918
N(%)	<0.3	<0.5	<1	EN15104
S(%)	<0.03	<0.03	<0.04	EN15289
C1(%)	<0.02	<0.02	<0.03	EN15289

Tablo 3.3’de belirtilmiş olduğu gibi yapılacak olan analizlere ve uyması gereken limit değerlerine standart numaralar veya harfler verilmiştir.

3.2.2. Çap ve Uzunluk Ölçümü

20 adet briketten az olmamak koşuluyla rast gele seçilen briketler hassasiyeti 0.1 mm olan kumpas ile çap ve boy ölçümleri yapılarak kaydedilir. Kaydedilen bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama çap ve boy değeri belirlenir. Bu teste 80, 120, 160 ve 200 MPa basınçlarda sıkıştırılarak elde edilen briket grupları için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır.



Şekil 3.16. Bir briketin çapı ve uzunluğu (D: çap, L: uzunluk)

Trabzon hurması budama atıkları briketlerinin fiziksel testleri ile ilgili olarak kırılma (shatter) direnci, hacim ağırlığı, düşme-dayanıklılık (tumbler) direnci, nem içeriği belirlenmiştir.

3.2.3. Nem İçeriği

Farklı parçacık boyutlarında ki materyallerden alınan numuneler hassas tartı ile tartılarak ağırlıkları boş bir kâğıt üzerine veya Excel dosyası içerisine kaydedilmiştir.

Daha sonra numune örnekleri etüv içerisine konularak 105 °C kurutma fırınında 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Kurutma işlemi bittikten sonra örnekler fırından çıkarıldıktan 15 saniye içinde ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir. Kurutma öncesi ve sonra olmak üzere 2 defa ağırlığı ölçülmüş örneklerin nem içeriğinin belirlenmesi için aşağıdaki denklemden (3.1) yararlanır ve nem içeriği hesaplanmıştır. Çalışmada iki farklı nem içeriğinde (%12 ve %15) Trabzon Hurması budama atığı briketlenmiştir. Materyalin nem içeriği EN 14774-1 standardına uygun olarak belirlenmiştir (EPC, 2013).

$$M = \left[\frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \right] \times 100 \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

M: Nem içeriği (%),

m1: Boş kabın ağırlığı (g) ,

m2: Kurutmadan önceki numunenin ve kabın ağırlığı(g),

m3: Kurutmadan sonraki numunenin ve kabın ağırlığı (g),



Şekil 3.17. Kabın ve numunenin kurutmadan önce

3.2.4. Yoğunluk (Hacim Ağırlığı)

Briketleme öncesi materyal yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla hacmi belirli bir kaba, materyal belirli bir yükseklikten (4 cm) doldurulmuş ve doldurulan materyalin ağırlığı tartılarak kaydedilmiştir (Şekil 3.18). Aşağıdaki eşitlik (3.2) yardımıyla Materyal yoğunluğu hesaplanmıştır. Briketlerin hacim ağırlığının (yoğunluğunun) ölçülmesi amacıyla hassas terazi ve hektolitre kullanılmıştır (Martin, 2015).



Şekil 3.18. Materyal hacim ağırlığının belirlenmesi

$$\rho = \frac{N}{V} \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

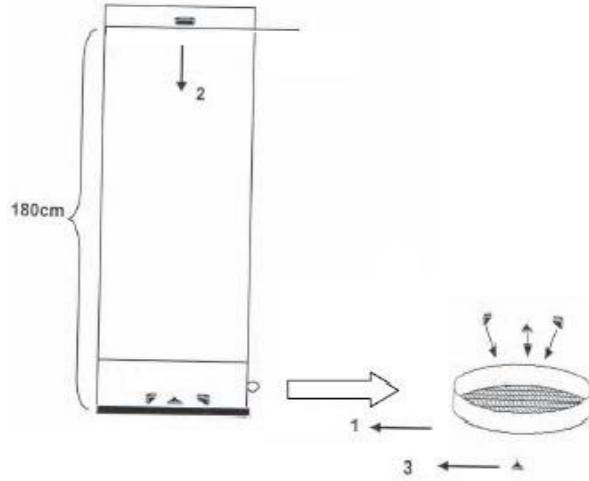
ρ = Materyalin özgül kütlesi (kg.m^3)

N = Materyalin kütlesi (kg)

V = Kabın hacmini (m^3) ifade etmektedir.

3.2.5. Kırılma Direnci (Shatter Index)

Trabzon hurması budama atıklarından elde edilmiş olan briket numuneleri test öncesi ağırlığı tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra briketler belirli bir yükseklikten (1-1.8m) sert bir zemin üzerine bırakılmıştır (Şekil 3.19). Yapılan bu işlen 1 tane briket için 10 defa tekrarlanmış ve düşen parçalar 5 mm elek açıklığına sahip olan elekte elenerek elek üzerinde kalan kısım tekrardan tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir. Yapılan bu işlemler 80, 120, 160 ve 200 MPa sıkıştırma basınçlarında sıkıştırılmış briketler için ayrı ayrı yapılmıştır. Yapılan bu işlem sonucu briketin kırılarak parçalanması sonucu meydana gelen kayba bağlı olarak kırılma (shatter) direnci yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.19. Kırılma (shatter) direnci (1. elek, 2. Briket numunesi, 3. numuneden oluşan kayıp)

3.2.6. Mekanik Dayanıklılık Direnci (Tumbler Index)

Bu testte, rast gele seçilen 4 adet briket EN15210.2 standardına göre tasarımı yapılmış test düzeneğine (Şekil 3.20) test öncesi tartılarak ağırlığı yazıldıktan sonra test düzeneğine yerleştirilmiştir. Briketler düzenek içerisinde 5 dakika boyunca 21 d.d¹ (105 devir) ile döndürülmüştür. 5 dakikalık zaman sonrasında sonra test düzeneği durdurularak düzenek içerisinde kalan briket ve briket parçaları tekrar tartılmak üzere 5 mm elek açıklığına sahip eleğe alınmış ve eleme işlemi yapılmıştır. Yapılan eleme işleminden sonra elek üzerinde kalan briket ve briket parçaları tekrar tartılmış ve ağırlıkları kaydedilmiştir. Bu işlem 80, 120, 160 ve 200 MPa sıkıştırma basınçlarında briketlenmiş briketler için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Test süresince oluşan ağırlık kaybına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikten (3.3) yararlanılarak mekanik dayanıklılık (tumbler) direnci yüzde olarak hesaplanmıştır (EPC, 2013).



Şekil 3.20. Dayanıklılık (tumbler) test düzeneği

$$DU = \frac{m_A}{m_E} \times 100 \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

DU: Mekanik dayanıklılık yüzdesi (%)

mA: Briketlerin test cihazına konulmadan önceki ağırlığı (g)

mE: Briketlerin test cihazından çıktıktan sonra elekte kalan briket ve briket parçalarının ağırlığı (g)

3.2.7. Briket Sertlik Direncinin Belirlenmesi

Briketlerin deformasyon kuvvetlerinin belirlenmesinde amacıyla iki düz plaka arasına yerleştirilen briketler uygulanan kuvvet sonucu briketlerin kopması veya parçalanması için gerekli olan kuvvet ölçülmektedir. Bu amaçla hem bilgisayardan hem de manuel olarak kontrol edilebilen ve kapasitesi 50000 N olan “Mikrotest” markasına ait basınç dayanım cihazı kullanılarak kuvvet-deformasyon eğrileri çizilmiştir (Şekil 3.9).

3.2.8. Kül İçeriğinin Belirlenmesi

Briketlerin kül içerikleri EN 14775 standardına uygun olarak kül fırını (Şekil 3.21) kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 3.21. Kül fırını

3.2.9. Briketlerin Isıl Değerinin Belirlenmesi

Briketlerin alt ısıl değeri EN 14918 standartlarına göre kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.22). Briketlerin alt ısıl değerleri, ASTM D 5865–04 standardına göre IKA marka C 200 model kalorimetre cihazı (Şekil 3.23) kullanılarak belirlenmiştir. Kalorimetre analizi için örnek hazırlamada IKA C 240 oksijen dolmuş makinesi kullanılarak yapılmıştır (EN 14918).



Şekil 3.22. Yakıt bombası



Şekil 3.23. Kalorimetre cihazı

3.2.10. Baca Gazı Emisyon Değerlerinin Belirlenmesi

Briketlerin yakılması için özel olarak yapılmış şömine tip soba kullanılmıştır. Denemelerde cihazın algılayıcı ucu kazan çıkışından 1 m uzaklıkta açılmış olan delikten borunun merkezine gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Yanma sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değerleri (CO (ppm), CO₂ (%), O₂(%), NO (ppm), NO_x (ppm), SO₂ (ppm) birer dakika aralıklarla okunarak baca gazı ölçüm cihazı (Şekil 3.10) ile ölçülerek belirlenmiştir.

Denelemler ve analiz sonuçları, normallik varsayımı testi olan Shapiro-Wilk testine tabi tutulmuş ve ayrıca verilerin normal dağılışa uygun olduğu ($P>0,05$) belirlenmiştir. Hesaplanan varyans sonuçlarının homojenliği varsayımı Levene testi ile değerlendirilmiştir. Levene testi sonucunda hesaplanan varyans sonuçlarının homojen olduğu ($P>0,05$) tespit edilmiştir. Elde edilen ortalama sonuçların karşılaştırılması amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Analizler 2x3x4(3) düzeninde faktöriyel deneme desenine göre gerçekleştirilmiştir. Verilerin analizi IBM SPSS 20.0 yazılımı OMÜ lisansı ile kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışma sonucunda; Türkiye de meyvesi için yetiştiriciliği yapılan Trabzon hurması ağacının yılın belirli dönemlerinde yapılan budamalar sonucu açığa çıkan tarımsal atıkların belirli standartlar çerçevesinde briketlenerek katı biyoyakıt olarak kullanma olanaklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, briketlerin fiziko-mekanik dayanıklılık özellikleri, yanma sonu açığa çıkan gaz emisyon değerleri, ısı değerleri ve kül içeriği parametreleri tespit edilmiştir. Temin edilen atıklar, belirlenen parçacık boyutlarında (3, 5 ve 8 mm) öğütme işleminden sonra, 2 farklı nem içeriğine sahip ve 4 farklı sıkıştırma basıncında (80, 120, 160, 200 MPa) briketlenmiştir.

4.1. Trabzon Hurması Budama Atıkları Briket Özellikleri

Tarımsal atıklar öğütme işlemi için farklı delik çaplarına sahip eleklerin takılı olduğu çekiçli değirmende öğütülmüştür. Öğütülen atıklar denemeler için belirlenen 3, 5 ve 8 mm parçacık boyutlarında materyaller elde edilmiştir. Materyallerin nem içeriğinin belirlenmesinde Avrupa Birliği'nin yayınladığı EN 14774-1 standartlar ve 2015 yılında Coşoreanu vd (2015) tarafından yapılan çalışmada %8-15 aralıkların da ki neme sahip materyallerin yapıştırıcı kullanılmadan briketlenebileceği en uygun nem içeriği olduğunu belirttikleri çalışma da dikkate alınarak belirlenmiştir. Materyallerin nem içeriğinin yüksek olması durumlarında materyallerin sıkıştırma esnasında silindirik kalıp içerisine yapışacağı ve briketlerde parçalanmaya neden olacağını belirtmiştir. Nem içeriğinin çok düşük olması durumunda ise yapıştırıcı kullanılmadan briketlenmesi, materyallerin tutuculuğunun az olacağından briketlerde parçalanma ve dağılma gibi sorunların ortaya çıkacağını belirtmiştir.

Parçacık boyutlarına bağlı olarak Trabzon hurması budama atıkları için 2 farklı nem içeriğine sahip ve 3, 5, 8 mm parçacık boyutların da ki materyal hacim ağırlıklarında ki değişimler aşağıdaki Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Farklı nem ve öğütme inceliklerinde materyal hacim ağırlıkları

Nem içeriği (%)	Öğütme inceliği (mm)	Ortalama ham materyal hacim yoğunluğu (kg.m ³)
12	3	240.15
	5	235.03
	8	231.41
15	3	269.26
	5	269.80
	8	263.17

Tablo 4.1 incelendiğinde %12 ve %15 nem içerikleri için, materyal yoğunluğu bakımından en düşük yoğunluğa sahip değer %12 nem içeriğinde elde edilmiştir. %12 nem de farklı öğütme incelikleri için materyal yoğunlukları incelendiğinde 8 mm öğütme inceliğinde 231.41 kg.m⁻³ ile elde edilmiştir. Daha yüksek nem içeriğinde (%15) ise materyallerin hacim yoğunluğu bakımından incelendiğinde 263.17 kg.m⁻³ ile 8 mm öğütme inceliğinde elde edilmiştir.

4.2. Trabzon Hurması Budama Atıklarının Briketlenmesi

Trabzon hurması budama atıkları %12 ve %15 nem içeriğinde ve 3, 5 ve 8 mm öğütme inceliğine sahip materyaller 80, 120, 160 ve 200 MPa basınç altında hidrolik tip briketleme makinesi kullanılarak briketlenmiştir. Farklı basınçlar altında briketlenen briketlere ait nem, parçacık boyutları ve briket yoğunluklarına ait değerler Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Farklı nem ve öğütme inceliklerine sahip materyallerin farklı sıkıştırma basınçlarındaki sıkıştırma oranı

Nem içeriği (%)	Öğütme inceliği (mm)	Sıkıştırma basıncı (MPa)	Ham materyal yoğunluğu (kg.m ⁻³)	Briket Yoğunluğu (kg.m ⁻³)	Sıkıştırma oranı
12	3	80	240.15	801.63	3.34
		120		836.49	3.48
		160		980.93	4.08
		200		1011.00	4.21
	5	80	235.03	1263.96	5.38
		120		1327.79	5.65
		160		1383.32	5.89
		200		1569.55	6.68
	8	80	231.41	776.19	3.35
		120		882.09	3.81
		160		956.05	4.13
		200		947.69	4.10
15	3	80	269.26	759.37	2.82
		120		921.26	3.42
		160		913.79	3.39
		200		900.14	3.34
	5	80	269.80	937.11	3.47
		120		824.85	3.06
		160		940.69	3.49
		200		1021.49	3.79
	8	80	263.17	789.37	3.00
		120		890.20	3.38
		160		902.61	3.43
		200		957.36	3.64

Tablo 4.2 incelendiğinde Trabzon hurması budama atıklarının briketlenmesi için uygulanan basınçlara bağlı olarak %12 ve %15 nem içeriği için sıkıştırma basınçları arttıkça genel olarak sıkıştırma oranlarında da artış görülmektedir.

Tablo 4.2’de nem, öğütme inceliği, briket sıkıştırma basıncı ve briket yoğunluğu arasında doğrusal bir etki olduğu görülmektedir.

%12 nem içeriğine sahip materyallerin öğütme incelikleri ve sıkıştırma basınçları incelendiğine, sıkıştırma oranın yüksek olduğu öğütme inceliği 8 mm parçacık boyutunda 200 MPa basıncında elde edilmiştir.

%15 nem içeriğine sahip materyallerin öğütme incelikleri ve sıkıştırma basınçları incelendiğine sıkıştırma oranın yüksek olduğu öğütme inceliği 5 mm parçacık boyutunda 200 MPa basıncında elde edilmiştir.

4.3. Briket Yoğunluğu

Trabzon hurması budama atıklarının farklı nem değerlerinde farklı öğütme inceliklerinde ve farklı sıkıştırma basınçlarında materyaller hidrolik tip presle briketlenmiş ve briket yoğunluğuna ait değerler Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Briket yoğunluğuna ait parametre değerleri

Nem (%)	Öğütme inceliği (mm)	Basıncı (MPa)	Materyal yoğunluğu (kg.m ⁻³)	Briket Yoğunluğu (kg.m ⁻³)
12	3	80	240.15	801.63 ± 4.60 ^{ij}
		120		836.49 ± 8.27 ^{g-j}
		160		980.93 ± 7.33 ^{de}
		200		1011.00 ± 19.02 ^d
	5	80	235.03	1263.96 ± 16.62 ^c
		120		1327.79 ± 12.95 ^{bc}
		160		1383.32 ± 16.03 ^b
		200		1569.55 ± 40.18 ^a
	8	80	231.41	776.19 ± 8.28 ^j
		120		882.09 ± 13.05 ^{fi}
		160		956.05 ± 12.00 ^{def}
		200		947.69 ± 12.75 ^{def}
15	3	80	269.26	759.37 ± 21.82 ^j
		120		921.26 ± 26.41 ^{efg}
		160		913.79 ± 15.27 ^{efg}
		200		900.14 ± 8.59 ^{e-h}
	5	80	269.80	937.11 ± 10.64 ^{def}
		120		824.86 ± 11.88 ^{hij}
		160		940.69 ± 101.03 ^{def}
		200		1021.49 ± 25.18 ^d
	8	80	263.17	789.37 ± 3.88 ^j
		120		890.20 ± 18.44 ^{gh}
		160		902.61 ± 3.28 ^{e-h}
		200		957.36 ± 9.03 ^{def}
P (Önem düzeyi)				< 0.001

Tablo 4.3 incelendiğinde parçacık boyutunun ve sıkıştırma basıncın briket yoğunluğu üzerinde ki etkisi incelendiğinde en yüksek yoğunluk 5 mm parçacık boyutunda ki materyallerin 200 MPa sıkıştırma basıncında elde edildiği görülmektedir. En düşük briket yoğunluğu ise %15 nem içeriğine sahip 3 mm öğütme

inceliğinde ve 80 MPa sıkıştırma basıncında elde edildiği görülmektedir. Farklı parçacık boyutlarında ki sıkıştırma basınçlarının artması sonucu briket yoğununda da artış gözlemlenmiştir. Farklı nem içeriklerine sahip materyallerin briket hacim ağırlığı üzerinde ki etkisi önemli bulunmuştur ($P < 0.001$).

Elde edilen briket hacim ağırlıklarının büyük bir kısmının literatür de belirtilen 1000 kg.m^{-3} ile uyumlu olduğunu dolayısıyla briketleme işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir (Plištil vd., 2005).

4.4. Mekanik Dayanıklılık Testi (Tumbler Index)

Briketlerin taşınması ve nakliyesinden, yakma zamanına kadar parçalanmadan ve bir bütün halinde sağlam kalması için mekanik dayanıklılık direnç testi çok önemli bir unsurdur (Akman, 2012). Mekanik dayanıklılık testleri sonucu Trabzon hurması budama atık briketleri varyans analiz sonuçları ve standart sapmaları Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Briketlerin mekanik dayanıklılık analiz sonuçları

Nem (%)	Öğütme inceliği (mm)	Basınç (MPa)	Tumbler (%)
12	3	80	19.74 ± 0.47^m
		120	49.39 ± 2.36^j
		160	76.02 ± 1.20^e
		200	76.58 ± 0.67^c
	5	80	19.63 ± 0.89^m
		120	51.99 ± 0.40^i
		160	76.05 ± 0.33^e
		200	89.17 ± 0.25^a
	8	80	17.66 ± 0.32^n
		120	52.47 ± 0.26^i
		160	70.90 ± 0.21^{de}
		200	80.55 ± 0.24^b
15	3	80	11.00 ± 0.20^o
		120	43.99 ± 1.11^k
		160	66.47 ± 0.51^g
		200	68.53 ± 0.47^f
	5	80	27.21 ± 0.37^l
		120	57.22 ± 0.16^h
		160	78.11 ± 0.41^c
		200	81.89 ± 0.37^b
	8	80	20.17 ± 0.15^m
		120	52.59 ± 0.24^i
		160	72.42 ± 0.23^d
		200	69.16 ± 0.20^{ef}

Yapılan varyans analizi sonucunda basınç değerleri arttıkça farklı materyallerin nem içerik değerlerine sahip briketlerin mekanik dayanıklılık direnç değerleri üzerine

olan etkisi önemli bulunmuştur ($P<0.001$). Ayrıca briketlerin sıkıştırma basıncı arttıkça briketlerin mekanik dayanıklılık direncinde artmalar gözlemlenmiştir. İki farklı nem içeriğine sahip materyallerden üretilmiş briketlerin dayanıklılıkları incelendiğinde %12 nem içeriğine sahip briketlerin dayanıklılığın daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak ise kullanılan materyalin kimyasal içeriğine ve lifli bir yapıya sahip olmasından dolayı daha düşük nem içeriğinde bağlayıcılıklarının daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Demirel, 2015). Farklı nem içeriklerine sahip briketlerin düşme-dayanıklılık dirençleri bakımından incelendiğinde her iki nem içeriği için en yüksek dayanıklılık 5 mm parçacık boyutunda gerçekleştiği görülmektedir. Farklı nem değerlerine sahip briketlerin mekanik dayanıklılık testi sonucunda en yüksek dayanıklılık %12 nem içeriğinde 5 mm parçacık boyutunda 200 MPa sıkıştırma basıncında olduğu belirlenmiştir. Tablo 4.4 incelendiğinde mekanik dayanıklılık bakımından en düşük dayanıklılık %12 nem içeriğinde 3 mm parçacık boyutlarında ki materyallerin 80 MPa sıkıştırma basıncında belirlenmiştir.

4.5. Kırılma Direnci (Shatter İndex)

Yapılan bu testte briketlerin yüksek bir yerden döküldüğü durumlarda, briketlerin sert zemine çarpması sonucu kırılmaya karşı göstereceği dayanıklılık ölçülmüştür. Briketler için elde edilen kırılma direnç değerleri ve yapılan varyans analiz sonuçları aşağıdaki Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5. Nem, parçacık boyutu ve sıkıştırma basınçlarının kırılma direncine olan etkisi

Nem (%)	Öğütme İnceliği (mm)	Basınç (MPa)	Shatter (%)
12	3	80	78.51 ± 1.39 ^{d-g}
		120	82.07 ± 0.60 ^{abc}
		160	78.79 ± 0.79 ^{c-f}
		200	82.56 ± 0.70 ^{ab}
	5	80	76.34 ± 1.00 ^{gh}
		120	71.65 ± 1.02 ⁱ
		160	73.67 ± 1.06 ^{hi}
		200	76.50 ± 1.36 ^{gh}
	8	80	80.02 ± 1.71 ^{b-e}
		120	79.92 ± 0.88 ^{b-e}
		160	78.08 ± 1.24 ^{d-g}
		200	76.35 ± 0.56 ^{gh}
15	3	80	79.11 ± 0.99 ^{c-f}
		120	83.99 ± 0.94 ^a
		160	80.43 ± 0.63 ^{b-e}
		200	79.44 ± 0.61 ^{b-f}
	5	80	77.69 ± 0.43 ^{efg}
		120	78.70 ± 1.11 ^{c-f}

Tablo 4.5 (Devam)

	160	75.33 ± 0.50 ^{gh}
	200	77.51 ± 0.96 ^{efg}
8	80	81.49 ± 1.76 ^{a-d}
	120	79.92 ± 0.95 ^{b-e}
	160	79.26 ± 0.90 ^{b-f}
	200	78.50 ± 0.51 ^{d-g}
P (Önem düzeyi)		<0.001

Briketlerin depolanması, nakliyesi ve torbalara doldurulması esnasında çarpmalar sonucu kırılmaya karşı gösterdikleri direnç için yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda, briketlerin farklı nem, öğütme inceliği ve basınçlar altında sıkıştırılması sonucu elde edilen briketler arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P < 0.001$). Tablo 4.5 incelendiğinde farklı nem içeriklerine sahip briketlerin farklı sıkıştırma değerleri incelendiğinde %15 nem içeriğinde 3 mm parçacık boyutuna sahip briketlerin 120 MPa sıkıştırma basıncında briketlenen briketlerin kırılmaya karşı en yüksek dayanıklılık gösterdiği briketler olduğu saptanmıştır. Aynı tablo içerisinde en düşük dayanıklılığa sahip briketlerin ise %12 nem içeriğinde 5 mm parçacık boyutunda 120 MPa sıkıştırma basıncında ki briketlerin sahip olduğu görülmektedir. Briketlerin kırılma dirençleri karşılaştırıldığında da hem %15 nem için hem de %12 nem içeriği için en dayanıklı briketler 3 mm parçacık boyutların da elde edilmiştir. Bu durum ise briketler daha küçük parçacık boyutlarında sıkıştırılmaya bağlı olarak materyallerin birbirlerine daha iyi tutunduğunu göstermektedir. Yapılan bu test sonucunda sonuçların Kürklü ve Bilgin, Bilgin ve Akan, Bilgin ve vd. yaptıkları çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

4.6. Sertlik Direnci

Uygulanan kuvvet sonucu brikette meydana gelen deformasyon kuvveti, briketlerin depolanması, taşınması ve paketlenmesi esnasında kırılmalara ve parçalanmalara neden olabilecek etkenlere karşı gösterebileceği direncin belirlendiği kırılma noktasıdır. Buda briketleme kalitesinin ifadesi için kullanılır (Karaca ve Başçetinçelik, 2010).

Tablo 4.6. Nem, parçacık boyutu ve sıkıştırma basınçlarının briket sertlik direncine olan etkisi

Nem (%)	Öğütme inceliği (mm)	Basınç (MPa)	Sertlik
12	3	80	998.71 ± 9.25 ^{mm}
		120	1478.57 ± 26.82 ^k
		160	4183.29 ± 70.07 ^{cd}
		200	5329.11 ± 12.40 ^b
	5	80	865.53 ± 22.23 ⁿ
		120	1791.23 ± 18.71 ^j
		160	3510.86 ± 36.96 ^f
		200	5826.63 ± 42.14 ^a
	8	80	989.33 ± 73.02 ^{mm}
		120	1814.32 ± 28.84 ^j
		160	4032.31 ± 50.10 ^d
		200	4106.31 ± 32.98 ^{cd}
15	3	80	617.19 ± 60.38 ^o
		120	1957.14 ± 57.76 ^{ij}
		160	3293.43 ± 98.62 ^g
		200	3365.39 ± 208.59 ^{fg}
	5	80	1265.27 ± 22.19 ^l
		120	2001.34 ± 38.31 ⁱ
		160	3803.54 ± 30.65 ^e
		200	4242.81 ± 0.20 ^e
	8	80	1156.76 ± 12.4 ^{lm}
		120	2210.71 ± 13.64 ^h
		160	3436.28 ± 11.70 ^{fg}
		200	3746.91 ± 33.63 ^e
P (Önem düzeyi)			<0.001

Tablo 4.6 incelendiğinde briketlerin sertlik direnci en yüksek olan 5826,63 N ile %12 nem içeriğine sahip 5 mm öğütme inceliğindeki ve 200 MPa sıkıştırma basıncında görülmüştür. Ayrıca direnci en düşük briket ise %15 nem içeriğine sahip 3 mm öğütme inceliğine sahip 80 MPa sıkıştırma basıncında elde edilmiştir. Sertlik değeri en yüksek olan briket yüksek kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Karaca ve Başçetinçelik, 2010). Tabloda görüldüğü üzere %12 ve %15 nem içerikleri karşılaştırıldığında %12 neme ait briketlerin karşılaştıkları etkilere karşı gösterdikleri direncin daha yüksek olduğu görülmektedir. Buda bize briketlerin nem içeriği arttıkça karşılaştığı kuvvete karşı gösterdikleri direncin düştüğünü göstermektedir. Briketlerin sıkıştırma basınçları bakımından karşılaştırıldığında ise basınç arttıkça doğrusal olarak briketlerin sertlik direnci de artmıştır. Yapılan varyans analizi sonucunda nem, parçacık boyutu ve briket sıkıştırma basıncının briketlerin sertlik direnci değerleri üzerine olan etkisi önemli bulunmuştur (P<0.001).

4.7. Briketlere Ait Kül İçeriği ve Isıl Değerleri

Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda briketlerin kül içeriği ve ısıl değerleri önemli bulunmuştur ($P < 0.001$). Kül içeriğine ve ısıl değerlerine ait analiz sonuçları Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7. Briketlere ait kül içeriği değerleri

Isıl Değer (MJ.kg ⁻¹)	Kül İçeriği (%)
18.68	2.36

Tablo 4.7 incelendiğinde briketlere ait alt ısıl değeri 18.68 MJ.kg⁻¹ olarak bulunmuştur. EN plus-A1, EN plus-A2 ve EN-B sınıfı briketler için EN 14918 Avrupa Birliği Standardında briketlerin ısıl değerinin en düşük 14.9 MJ.kg⁻¹ olması istenilmiştir. Elde edilen sonuçlar belirtilen standarttan daha yüksek çıkmıştır.

Tablo 4.7 incelendiğinde briketlere ait kül içeriği %2.36 olarak tespit edilmiştir. EN 14775 Avrupa Birliği standardında üç farklı standart bulunmaktadır. Bunlar; EN plus-A1, EN plus-A2 sınıflarının yanı sıra EN-B standartlarıdır. EN plus-A1 için kül içeriği %0.7’den düşük, EN plus-A2 için kül içeriği %1.5’den düşük ve EN-B sınıfı briketler için %3’den düşük olması istenmektedir.

Yapılan diğer çalışmalarda (Aksoy vd., 2016; Demirel, 2015; Gürdil vd., 2016; Sungur vd., 2016) tarımsal atıkların ülkemizde kullanılan linyit kömürüne ait ısıl değerlerinden daha yüksek, kül içeriği bakımından ise daha düşük çıkmıştır. Trabzon hurması budama atıklarının da yapılan testler sonucunda aynı durum gözlemlenmiştir.

4.8. Briketlerin Baca Gazı Emisyon Değerleri

Fosil kaynakların yakıt olarak kullanılması sonucu doğaya salınan duman ve gazların doğal yaşama verdiği zarar bilinmektedir. Alternatif enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi açısından ise ilk sırada biyokütle kaynağı gelmektedir. Biyokütle yakıtlarının fosil yakıtlara oranla çok düşük O₂, CO₂, CO, NO, NO_x, SO₂ değerlerine sahiptir. Trabzon hurması budama atıklarının yanma sonucu ortaya çıkan baca gazı emisyon değerleri Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8. Baca gazı emisyon değerleri

Basınç (MPa)	Boyut (mm)	Nem (%)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	No _x (ppm)	SO ₂ (ppm)
80	3	12	15.7	5.1	961.3	92.0	96.3	0.0
120	3	12	17.8	3.1	1217.7	52.0	54.3	0.0
160	3	12	15.7	5.1	1058.3	93.3	97.7	0.0

Tablo 4.8 (Devam)

200	3	12	15.7	5.1	811.3	85.7	90.3	0.0
80	5	12	17.7	3.2	905.0	60.0	62.7	0.0
120	5	12	17.9	2.9	665.3	58.0	61.0	0.0
160	5	12	16.7	4.1	713.7	79.0	83.0	0.0
200	5	12	14.4	6.4	824.0	119.7	125.7	0.0
80	8	12	17.1	3.8	1332.7	70.0	73.3	0.0
120	8	12	14.3	6.5	522.7	113.3	119.3	0.0
160	8	12	14.0	6.7	362.0	126.0	132.0	0.0
200	8	12	13.4	7.4	1196.7	104.3	109.3	3.3
80	3	15	18.7	2.2	1451.3	28.0	29.0	0.0
120	3	15	18.4	2.4	2643.0	35.3	36.7	0.0
160	3	15	15.2	5.6	641.0	96.7	101.7	0.0
200	3	15	12.0	8.7	2408.7	176.0	184.7	7.7
80	5	15	16.3	4.6	634.0	87.7	92.3	0.0
120	5	15	15.1	5.7	1040.3	92.3	96.7	1.3
160	5	15	14.4	6.4	534.0	109.7	115.0	0.0
200	5	15	14.6	6.2	634.3	111.3	116.7	0.0
80	8	15	16.3	4.5	719.0	83.3	87.7	1.0
120	8	15	16.0	4.8	418.0	94.7	99.7	0.0
160	8	15	14.4	6.4	784.3	106.7	111.7	1.0
200	8	15	14.6	6.1	451.7	110.0	115.7	0.7

Yapılan bu çalışmada ortaya çıkan sonuçlar ile (Acar vd., 2016) tarafından yapılan bazı tarımsal atıkların (çay fabrikası atıkları, fındık zuru, çeltik sapı, çeltik kavuzu, ayçiçeği, buğday, mısır ve kolza sapı) baca gazı emisyon değerleri ile kıyaslandığında genel olarak, O₂ bakımından değerler yüksek çıkmasına karşın CO₂, CO, NO_x SO₂ değerleri bakımından daha avantajlı durumdadır.

Tablo 4.9. İKHKKY sınır değerleri (Anonim, 2019)

İKHKKY sınır değerleri	CO ₂ (%)	CO (mg.Nm ⁻³)	NO _x (mg.Nm ⁻³)
	20.5	4000	400

Yanma sonucu açığa çıkan gazlar Tablo 4.9’da verilen ‘İKHKKY sınır değerleri’ ile karşılaştırıldığında sınır değerlerin çok çok altında olduğu ve yakıt kaynağı olarak kullanılmasının daha avantajlı ve daha doğa dostu bir enerji kaynağı olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde yaşta meyve veren ve vermeyen 1563130 adet Trabzon hurması meyve ağacı bulunmaktadır ve ağaçların budanması sonucu yaklaşık olarak 11301.5 ton atık ortaya çıkmaktadır (TÜİK, 2020b). Budama atıklarının bahçe kenarlarında yığın olarak bırakılması ve gelişi güzel şekilde yakılıp imha edilmesi çevresel faktörler göz önüne alındığında oldukça etkilidir. Hem çevresel faktörler hemde atıkların ekonomik değeri göz önüne alındığında, atıkların ekonomiye kazandırılması gerekmektedir. Bu nedenle Trabzon hurması ağacının budama sonrası atıklarınının briket biyoyakıtı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada Trabzon hurması ağacının budama sonrası da açığa çıkan atıklar briket biyoyakıtı haline getirilmiştir. Yapılan denemelerde 3, 5 ve 8 mm öğütme inceliğinde, %12 ve %15 nem içeriğine sahip materyal briketlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Briketlerin materyal yoğunluğuna bakıldığında 231.41-269.80 kg.m³ arasında değiştiği görülmektedir. Hacim yoğunluğu en fazla olan briket %15 nem içeriğindedir elde edilmiştir.

Briketlerin hacim ağırlıkları incelendiğinde 759.37 - 1569.55 kg.m³ arasında değiştiği görülmektedir. Materyal hacim ağırlıklarına ve materyal yoğunluklarına bağlı olarak en yüksek sıkıştırma oranı 5 mm parçacık boyutunda, 200 MPa sıkıştırma basıncında, %12 nem içeriğinde elde edilmiştir.

Nem, öğütme inceliği ve sıkıştırma basınçlarınının briket hacim yoğunluğu üzerine olan etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P<0.001).

Trabzon hurması budama atıkları briketlerinin mekanik dayanıklılık dirençleri %11-89.17 arasında değişmektedir. Dayanıklılık direnci en fazla olan briket, %12 nem içeriğine sahip 5 mm öğütme inceliğinde 200 MPa sıkıştırma basıncı altında briketlenen briketlerdir. Veriler incelendiğinde öğütme inceliği grupları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir (P<0.001).

Briketlerin kırılma direnci (Shatter Index) testi sonucunda dayanıklılık dirençlerinin %71.65-83.99 arasında değiştiği görülmektedir. Briketlerin kırılmaya karşı gösterdikleri direnç en yüksek %15 nem içeriğinde 3 mm öğütme inceliğinde ve 120 MPa sıkıştırma basıncında elde edilmiştir. Yapılan istatistiksel çalışma sonucunda

öğütme inceliği, sıkıştırma basıncı ve nem içeriği değerlerinin briketler üzerinde ki etkisi önemli olduğu ($P < 0.001$) görülmektedir.

Briketlerin sertlik direnci en fazla 5826.63 N ile %12 nem içeriğine sahip 5 mm öğütme inceliğinde 200 MPa sıkıştırma basıncında elde edilen briketlerde görülmüştür. Briketlerin kırılma dirençleri yüksek olarak belirlenmiş ve bu kırılmalarda oldukça az kayıplar oluşmuştur

Briketlerin yanma sonucunda ortaya çıkan ve doğaya salınan baca gazının en yüksek emisyon değerlerinin, Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde (IKHKKY) belirtilen sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür. Dolayısıyla da yapılan bu çalışmada kullanılan briketlerin her birinin çevre dostu ve temiz bir enerji kaynakları olduklarını göstermektedir.

Briketlerin yakılması sonucunda oluşan kül içeriği %2.36, alt ısı değeri 18.68 MJ.kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Bu değer EN 14961-3 standartının da belirtilen kül (≤ 3.0) içeriğinin altında olduğunu, alt ısı değeri ($\geq 14,9$) olarak ise üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum, fosil katı yakıtlarla karşılaştırıldığında ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan linyit kömürünün yanma sonucu açığa çıkan ısı (11.5 MJ.kg⁻¹) ve kül oranı (%19.10) bakımından çok daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Çalışmada kullanılan Trabzon hurması meyve ağacının budama sonrası geriye kalan atıkların çeşitli işlemlerden geçirilerek ve herhangi bir katkı maddesi kullanılmadan kaliteli ve sağlam briketler elde edilmiştir.

Trabzon hurması budama atıklarının, briketlemesi için en uygun nem içeriğinin %12 olduğu, en uygun parçacık boyutlarının 3-5 mm olduğu ve en uygun sıkıştırma basıncının 200 MPa olduğu görülmüştür.

Yapılan araştırmalarda tarımsal atıkların ısı değeri açısından yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Biyokütle materyalinin düşük kül oranlarına sahip olması ve baca gazı emisyon değerlerinin linyit kömürüne göre çevreye verdiği zararların çok daha az olduğu belirlenmiştir.

Ülkemizde meyve yetiştiriciliğinde ki ağaçların, yılın periyodik dönemlerinde budanması sonucunda büyük oranlarda ortaya çıkan atıklarının (kuru) biyoyakıt olarak kullanılabilmesi için briket formunda değerlendirilerek; fiziki ve mekanik özellikleri, yanma sonucu çıkan gaz emisyonları ve ısı enerji potansiyellerini belirlemek alternatif enerji kaynağının ortaya çıkmasına yardımcı olacaktır.

Bir tarım ülkesi olmamıza rağmen ülke ekonomisine büyük bir yük olan enerjinin, tarımsal faaliyetler sonucunda ortaya çıkan atıkların biyoyakıt olarak

değerlendirilip enerjide da dışa bağımlılığın azaltılmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca tarımsal faaliyetler sonucunda ortaya çıkan atıkların biyoyakıtı dönüştürülmesi odun ve kömüre alternatif oluşturacaktır. Biyoyakıt alanına yapılacak yatırımlar sonucunda kırsal alanlarda istihdam sağlanacağı unutulmamalıdır. Girişimciler devlet tarafından desteklenmeli ve teşvik edilmelidir. Bu tarz çalışmaların desteklenmesinin ülkemiz ekonomisine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Acar, M., Gizlenci, Ş., Dok, M., Erdoğan, M. ve Çelik, A. (2016). "Bazı Tarımsal Atık-Artıkların Biyokütle Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi", 2. *Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu*, Samsun, 27-30 Eylül 2016, ss. 99-106
- Adaçay, F. R. (2014). "Türkiye İçin Enerji ve Kalkınmada Perspektifler", *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6/2, ss. 87-103.
- Adıyaman, Ç. (2012). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikaları. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Niğde.
- Ağaçbiçer, G. (2010). Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye ekonomisine katkısı ve yapılan swot analizler. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.
- Akman, H. E. (2012). *Yağ Güllü (Rosa damascena Mill.) Damıtma Atıklarının Briketlenmesi Üzerine Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Antalya.
- Aksoy, M., Çelik, A. E. ve Dok, M. (2016). Pirmanın Biyoyakıt Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması Ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. 2. *Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu*, 27-30 Eylül 2016, Samsun.
- Anonim. (2018a). <https://habitatdernegi.org/kaynaklar/>, Erişim:10 Aralık 2018.
- Anonim. (2018b). https://www.ikv.org.tr/ikv.asp?ust_id=2048&id=824, Erişim: 12 Ocak 2018.
- Anonim. (2019). Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği. <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.aspx?MevzuatKod=7.5.7265&MevzuatTilisKi=0&sourceXmlSearch=%C4%B1s%C4%B1nmadan%20kaynaklanan>, Erişim: 11 Mayıs 2019.
- Anonim. (2020a). <https://ticaret.gov.tr/istatistikler/arastirma-ve-raporlar>, Erişim: 19 Ağustos 2020.
- Anonim. (2020b). <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları>, Erişim: 11 Mayıs 2020.
- Anonim. (2020c). <https://www.thinkgeoenergy.com/the-top-10-geothermal-countries-2019-based-on-installed-generation-capacity-mwe/>, Erişim:19 Ağustos 2020.
- Aras, S., Elibüyük, U. ve Üçgül, İ. (2017, 03-05 Kasım 2017). "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevre Üzerine Olumlu ve Olumsuz Etkileri", 9. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, Antalya, ss. 276-279.
- Atımtay, A. T. ve Topal, H. (2004). Co-combustion of olive cake with lignite coal in a circulating fluidized bed. *Fuel*, 83(7-8), 859-867.
- Aybek, A., Üçok, S., İspir, M. A. ve Bilgili, M. E. (2015). Türkiye'de Kullanılabilir Hayvansal Gübre ve Tahıl Sap Atıklarının Biyogaz ve Enerji Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritalarının Oluşturulması. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12/3, ss.109-120.
- BEPA. (2020). Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Erişim: 18 Temmuz 2020, <http://bepa.yegm.gov.tr/>.
- Bilgin, S. ve Akan, H. (2012). Pamuk Saplarının Hidrolik Tıp Preste Briketlenmesi Üzerine Bir Çalışma, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8/1, ss.99-106.
- Bilgin, S., Karayel, D. ve Yılmaz, H. (2015). "Palmiye Budama Artıklarının Briketlenmesi", 29. *Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi*, Diyarbakır, 2-5 Eylül 2015, ss. 478-484.
- Boztepe, E. ve Karaca, A. (2009). "Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Tarımsal Atıklar", *Türkiye 11. Enerji Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 21-23 Ekim, 21-23.

- BP. (2019a). BP Statistical Review of World Energy 2017, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>, (22 Kasım 2020).
- BP. (2019b). BP Statistical Review of World Energy 2019, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>, (12 Kasım 2020).
- Coşereanu, C., Lica, D. ve Lunguleasa, A. (2015). Investigation on the quality of briquettes made from rarely used wood species, agro-wastes and forest biomass. *Pro Ligno*, 11(1).
- Çukurçayır, M. A. ve Sağır, H. (2008). Enerji sorunu, çevre ve alternatif enerji kaynakları. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(20), 257-278.
- Demirbaş, A. (1999). "Physical Properties Of Briquettes From Waste Paper and Wheat Straw Mixtures", *Energy Conversion And Management* , Cilt.40, ss. 437-445.
- Demirel, B. (2015). Fındık Zurufu, Mısır ve Ayçiçeği Saplarının Katı Biyoyakıt Olarak Değerlendirilebilir Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, OMÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Doğan, M. (2015). Yenilenebilir Enerjide Tarımın Rolü, Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, Aydın. *Lisans Tezi*.
- Dok, M., Acar, M., Çelik, A. E., Atagün, G. ve Akbaş, U. (2018). Şeftali Budama Artıklarından Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Yararlanma İmkânlarının Araştırılması. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 14(3), 193-198.
- DSİ. (2018). 2017 Yılı Faaliyet Raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/759>, (5 Mart 2018).
- EİA. (2016). World Energy Outlook 2016, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2016>, (27 Mart 2018).
- EİA. (2018). World Energy Outlook 2018, <https://www.eia.gov/international/rankings/world?pa=44&u=4&f=A&v=none&y=01%2F01%2F2018&ev=false>, (21 Ocak 2021).
- EN14918. (2009). Solid biofuels - Determination of calorific European Committee for Standardization: Management Centre, Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels.
- EN14961-3. (2011). Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 3: Wood briquettes for nonindustrial use European Committee for Standardization: Management Centre, Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels.
- EN15210-2. (2010). Solid biofuels - Determination of mechanical durability of pellets and briquettes - Part 2: Briquettes European Committee for Standardization: Management Centre, Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels.
- EPC. (2013). Conseil Europeen Des Pellets, Manuel De Certification Des Pellets/Granules De Bois Destines Au Chauffage.
- EPDK. (2019). Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Elektrik Piyasası Yıllık Sektör Raporu Listesi, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24-3/elektrikyillik-sektor-raporu> (3 Ağustos 2020).
- EÜAŞ. (2019). 2019 Yılı Faaliyet Raporu, <https://www.euas.gov.tr/tr-TR/yillik-raporlar>, (17 Haziran 2020).
- GEPA. (2019). Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> (19 Mart 2020).
- Gürdil, G. A. K., Baz, Ö. Y., Dok, M., Acar, M. ve Demire, Ç. (2016). Fındık Zurufundan Üretilen Yakıt Peletinin Isısal parametreleri. 2. Ulusal

- Biyoyakıtlar Sempozyumu, 27-30 Eylül 2016, 2. Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 107-113, Samsun.
- Hatipoğlu, K. ve Karaca, C. (2018). "Hatay İlinde Yakacak Olarak Kullanılan Pirina Briketinin Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi", *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33/1, Haziran 2019, ss. 31-43.
- IRENA. (2019). Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2019, <https://www.irena.org/publications/2019/Jun/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2019>, (19 Nisan 2020).
- Kapluhan, E. (2017). "Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu", *Marmara Coğrafya Dergisi*, sayı: 30, Temmuz - 2014, ss. 97-125.
- Karaca, C. ve Başçetinçelik, A. (2010). Pamuk Çırcır Atıklarının Briketleme Özelliklerinin ve Yanma Emisyonlarının Belirlenmesi, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2010, Bursa, 01-05 Aralık, ss. 287-294.
- Karaca, C. ve Başçetinçelik, A. (2011). "Yerfıstığı Kabuğunun Briketleme Özelliklerinin ve Yanma Emisyonlarının Belirlenmesi", *VI. Yeni Ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 14-16 Ekim 2011, Denizli, ss. 51-58.
- Koç, E. ve Kaya, K. (2015). "Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu", *Mühendis ve Makina Dergisi*, 56/668, Eylül 2015, ss. 36-47.
- Külekçi, Ö. C. (2009). "Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi", *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1/2, 1 Ocak 2009, ss. 83-91.
- Kürklü, A. ve Bilgin, S. (2005). "Biyokütle Briketleme Makinaları ve Uygulamaları: Literatür Taraması", *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 19-21 Ekim, ss. 252-256.
- Mani, S., Tabil, L. G. ve Sokhansanj, S. (2006). Specific energy requirement for compacting corn stover. *Bioresource Technology*, 97(12), 1420-1426.
- Martin, P. (2015). Les Combustibles Bois, *Valbiom Facilitateur Bioenergies* Erişim: 30 Haziran 2015, <https://monprojet.labiomasseenwallonie.be/thematiques/bois-energie/documents>.
- Mazza, P. (2004). Farm Groups Pushing for Renewable Energy Standarts. *Harvesting Clean Energy Issue Brief*, ss. 5.
- MMOB. (2020). Türkiye'nin Enerji Görünümü 2020, <https://www.mmo.org.tr/kitaplar/turkiyenin-enerji-gorunumu-2020>, (10 Temmuz 2020).
- MTA. (2020). Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita> (16 Nisan 2019).
- Öztürk, H. H. (2013). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Özyiğit, T., Serarslan, M. N. ve Karsak, E. E. (2011). "Türkiye'de Elektrik Üretimi İçin Enerji Kaynaklarının Etkinliğinin Değerlendirilmesi", *İTÜ Dergisi/d*, 7/5, Ekim 2008, ss. 55-66.
- Plíštil, D., Brožek, M., Malaták, J., Roy, A. ve Hutla, P. (2005). Mechanical characteristics of standard fuel briquettes on biomass basis. *Research in Agricultural engineering*, 51(2), 66-72.
- REN21. (2020). Renewables 2020 Global Status Report, <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>, (18 Haziran 2020).

- REPA. (2020). Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/>, (10 Eylül 2020).
- Saraçoğlu, N. (2008). "Biyokütleden Enerji Üretiminde Enerji Ormancılığının Önemi", *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES'2008) Bildiri Kitabı*, İstanbul, 17-21 Aralık, ss. 17-19.
- Seven, B. (2014). Pamuk Sapları-Atık Hayvansal Yağ Karışımlarından Elde Edilen Briketlerin Yanma Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, FIRAT ÜNİVERSİTESİ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Sungur, B., Topaloğlu, B., Özbey, M. ve Siyah, E. C. (2016). "Pelet Yakıtlı Soba ve Kazan Yakma Teknolojileri", *2. Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Samsun, 27-30 Eylül 2016, ss. 107-113.
- TEİAŞ. (2019a). Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar İtibariyle Gelişimi, <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/faaliyet-raporlari>, (11 Kasım 2020).
- TEİAŞ. (2019b). Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar İtibariyle Gelişimi, <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>, (11 Kasım 2020).
- Topal, M. ve Arslan, E. I. (2008). Biyokütle enerjisi ve Türkiye. *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 17-19.
- TUREB. (2019). Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu - Temmuz 2019, <https://tureb.com.tr//yayin/turkiye-ruzgar-enerjisi-istatistik-raporu-temmuz-2019/127>, (12 Temmuz 2020).
- TÜİK. (2020a). Türkiye Tarım ve Orman Alanları, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>, (03 Ocak 2020).
- TÜİK. (2020b). Bitkisel Üretim İstatistikleri, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>, Erişim: 25 Mayıs 2020.
- Yılmaz, A. (2012). Türkiye'de Sektörel Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler Ve Alternatif Enerji Politikaları, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Ana Bilim Dalı, Aydın.

ÖZ GEÇMİŞ



Muhammed GÜNEŞ, 04.11.1992 tarihinde Sinop'da doğdu. Sinop Seydi Ali Reis Mesleki Ve Teknik Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Meslek Yüksek Okulundan 2013 yılında mezun oldu. 2013 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nden 2016 yılında mezun oldu. 2016 yılında OMÜ LEE Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Yüksek Lisans programını girdi. Temel ilgi alanları, hobi bahçeleri ve hayvanlarla ilgilenmek, kitap okumak, müzik dinlemek, futbol, basketbol, masa tenisi oynamak ve yüzmek, yürüyüşe çekmek ve manzara fotoğrafları çekmektir, 20.01.2020.

İletişim Bilgileri

E mail : m_gunes@windowslive.com

Telefon : 5416218557

ORCID ID: 0000-0003-3432-0478