

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



**ÇAY FABRİKALARI ATIĞINDAN BRİKET BİYOPYAKITI ELDE
EDİLMESİ OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Yiğit Hasret TURGUT

Danışman

Prof. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL

SAMSUN
2021

TEZ KABUL VE ONAYI

Yiğit Hasret TURGUT tarafından, **Prof. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL** danışmanlığında hazırlanan “**Çay Fabrikaları Atığından Briket Biyoyakıtı Elde Edilmesi Olanaklarının Araştırılması**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 20.1.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan (Danışman)	Prof. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Doç, Dr. Taner YILDIZ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Fuat LÜLE Adıyaman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY
... / ... / 2021
Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

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 davranılmadığımı taahhüt ve beyan ederim.

İmza

21 / 06 / 2021

Yiğit Hasret TURGUT

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: Çay Fabrikaları Atığından Briket Biyoyakıtı Elde Edilmesi Olanaklarının Araştırılması

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 24.05.2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 23

Tek kaynak oranı : % 1 çıkmıştır.

İmza

24 / 05 / 2021

Gürkan Alp Kağan GÜRDİL
Danışman Adı SOYADI

ÖZET

ÇAY FABRİKALARI ATIĞINDAN BRİKET BİYOYAKITI ELDE EDİLMESİ OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Yiğit Hasret TURGUT

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Haziran/2021

Danışman: Prof. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL

Ülkemizin enerji ihtiyacının üretim ve tüketim değerleri incelendiğinde enerji 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 zengin olmasada yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin sayılabilecek konumdadır. Türkiyede tarımsal faaliyetler sonucu büyük miktarlarda atık ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, çay hasadından sonra açığa çıkan atıklar briket üretimi için kullanılmıştır. Çalışmada; tek nem (%10) içeriğinde, 2 farklı öğütme (5 ve 8 mm) inceliğinde ve 6 farklı sıkıştırma (40-80-120-160-200-240 MPa) basıncında briketler elde edilmiştir. Elde edilen briketlerin, alt ısıl değeri 18.84 MJ.kg^{-1} ve kül içeriği ise %4.47 olarak belirlenmiştir. Mekanik dayanıklılık olarak, Tumbler testi sonucunda en yüksek dayanıklılık 5 mm öğütme inceliği ve 240 MPa sıkıştırma basıncında %98.08 olarak elde edilirken en düşük dayanım 8 mm öğütme inceliği ve 40 MPa sıkıştırma basıncında tespit edilmiştir. Uygulanan Shatter (kırılma) testi sonucunda ise en yüksek dayanıklılık 5 mm parçacık boyutu ve 200 MPa sıkıştırma basıncında elde edilirken en düşük dayanıklılık 8 mm öğütme inceliği ve 40 MPa sıkıştırma basıncında elde edilmiştir. Yapılan testler sonucu çay işleme fabrikaları atığının briket formunda katı biyoyakıt olarak uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Briket, Enerji, Tarımsal Atık, Çay Atığı.

ABSTRACT

INVESTIGATING THE POSSIBILITIES OF PRODUCING FUEL BRIQUETTES FROM TEA PROCESSING FACTORY WASTES

Yiğit Hasret TURGUT

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Agriculture Machinery and Technologies Engineering

Master, June/2021

Supervisor: Prof. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL

When the production and consumption values of our country's energy need are examined, approximately 80% of its energy need is imported from abroad. External dependency in terms of energy poses a major obstacle to the development and growth of the country's economy. Although Turkey is not rich in fossil resources, it is in a position to be considered rich in renewable energy resources. Large amounts of waste arise as a result of agricultural activities in Turkey. In this study, the wastes released after the processing of tea at factories were used for briquette production. Briquettes with a single moisture content (10%), 2 different particle sizes (5 and 8 mm) and at 6 different briquetting compressions (40-80-120-160-200-240 MPa) were produced. The lower heating values of the briquettes obtained was 18.84 MJ.kg^{-1} and the ash content was 4.47%. As a result of the Tumbler test, the highest strength was obtained as 98.08% at 5 mm grinding fineness and 240 MPa compression pressure, while the lowest strength was determined at 8 mm grinding fineness and 40 MPa compression pressure. As a result of the applied Shatter test, the highest strength was obtained at 5 mm particle size and 200 MPa compression pressure, while the lowest strength was obtained at 8 mm grinding fineness and 40 MPa compression pressure. In conclusion, it has been reported that the waste from tea processing factories is suitable as solid biofuel in the form of briquette.

Keywords: Briquette, Energy, Agricultural Waste, Tea 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 Prof. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL'e teşekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlere getiren ve hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan aileme teşekkür ederim.

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

Yiğit Hasret TURGUT

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGE VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE METOT	10
3.1. Materyal	10
3.1.1. Kullanılan Çay Atıkları ve Özellikleri.....	10
3.1.2. Öğütme İşlemi.....	10
3.1.3. Briketleme Makinesinin Özellikleri.....	11
3.1.4. Denemelerde Kullanılan Diğer Alet ve Ekipmanlar	12
3.2. Metot	15
3.2.1. Çay Atıklarının Briketlenmesi	15
3.2.2. Çap ve Uzunluk Ölçümü.....	16
3.2.3. Nem İçeriği	17
3.2.4. Materyalin hacim yoğunluğu.....	17
3.2.5. Kırılma Direnci (Shatter Index).....	19
3.2.6. Mekanik Dayanıklılık Direnci (Tumbler Index).....	19
3.2.7. Briket Sertlik Direncinin Belirlenmesi	20
3.2.8. Kül İçeriğinin Belirlenmesi	20
3.2.9. Briketlerin Isıl Değerinin Belirlenmesi.....	21
3.2.10. Baca Gazı Emisyon Değerlerinin Belirlenmesi	21
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	23
4.1. Briketleme Yapılacak Materyalin Fiziksel Özellikleri.....	23
4.2. Briket Yoğunluğu	23
4.3. Briketlerin Mekanik Dayanıklılık Testi (Tumbler).....	24
4.4. Briketlerin Kırılma Direnci (Shatter)	25
4.5. Briketlerin Sertlik Direnci	26
4.6. Briketlerin Kül İçeriği ve Isıl Değerleri (Kuru Baz).....	27

4.7. Baca Gazı Emisyon Değerleri (Kuru Baz).....	28
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	29
KAYNAKLAR	32

SİMGE VE KISALTMALAR

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ASTM	American Society for Testing and Materials
BEPA	Biyokütle enerjisi potansiyeli atlası
BTEP	Bin ton eşdeğer petrol
cal	Kalori
cm	Santimetre
cm ³	Santimetreküp
CO ₂	Karbondioksit
CO	Karbonmonoksit
°C	Santigrat Derece
d/d	Devir/Dakika
DAY	Dolaşımli akışkan yatak sistemi
g	Gram
h	Saat
IKHKKY	Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
KAY	Hava kabarcıklı akışkan yatak sistemi
kg	Kilogram
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattsaat
mm	Milimetre
m ³	Metreküp
MPa	Megapascal
N	Newton
NO	Azot oksit
P	Sıkıştırma basıncı
s	Saniye
SO ₂	Kükürt Dioksit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3. 1. Çay atıkları.....	10
Şekil 3. 2. Çekiçli tip değirmen.....	11
Şekil 3. 3. Hidrolik tip briketleme makinesi	11
Şekil 3. 4. Atıkların briketlenmesi için kullanılan kalıp	12
Şekil 3. 5. Mekanik dayanıklılık test düzeneği	12
Şekil 3. 6. Basınç dayanım test cihazı.....	13
Şekil 3. 7. Baca gazı ölçüm cihazı ve parçaları.....	13
Şekil 3. 8. Briketlerin yakılması için kullanılan şömine tipi soba	14
Şekil 3.9. Kalorimetre cihazı.....	14
Şekil 3.10. Kullanılan diğer cihaz ve ekipmanlar	15
Şekil 3.11. Çay atıklarının öğütülmesi	16
Şekil 3.12. Çay atıklardan üretilen briketler	16
Şekil 3.13. Bir briketin çapı ve uzunluğu (D: çap, L: uzunluk).....	17
Şekil 3.14. Materyal hacim ağırlığının belirlenmesi	18
Şekil 3.15. Dayanıklılık (tumbler) test düzeneği	19
Şekil 3.16. Kül fırını görünümü	20
Şekil 3.17. Yakıt bombası	21
Şekil 3.18. Kalorimetre cihazı.....	21

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 4. 1. Öğütme inceliklerinde materyal hacim ağırlıkları	23
Tablo 4. 2. Elde edilen briketlerin yoğunluğu.....	24
Tablo 4. 3. Elde edilen briketlerin mekanik dayanıklılık değerleri.....	25
Tablo 4. 4. Elde edilen briketlerin kırılma direnci değerleri.....	25
Tablo 4. 5. Elde edilen briketlerin sertlik direnci değerleri	26
Tablo 4. 6. Elde edilen biriketlerin ısı değer ve kül içerikleri	27
Tablo 4. 7. Yanma sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değerleri.....	28
Tablo 4. 8. IKHKKY emisyon değerleri (Anonim, 2019)	28

1. GİRİŞ

Enerji, kaynaklarına bağılı olmak üzere değişik amaçlarda ve farklı sektörlerde kullanılan mutlak değere verilen addır. Bu bakımdan enerji, günümüz de insan hayatının ve ekonominin en önemli 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 yanında devletlerin sosyo - ekonomik güvenliği açısından da önemli bir faktördür.

Günümüzde enerji ihtiyacı genellikle kömür, petrol, doğalgaz gibi kaynaklardan karşılanmaktadır. Gelişen dünya ve nüfus artışı enerjiye olan ihtiyacı her geçen gün artarken, fosil kökenli enerji kaynakları azalmaktadır. Bunun sonucunda azalan enerji kaynakları ve artan talep sonucunda insanoğlu alternatif enerji kaynakları arayışı içine girmiştir. Dünyada tüm ülkeler için küreselleşmeyi de hesaba katarsak hayatın her alanında enerjiyi az ama verimli kullanmak vazgeçilmez olarak karşımıza çıkmaktadır. Gelişmiş ülkeler başta olmak üzere tüm ülkeler, az enerji ile en yüksek verimi sağlamak için çalışmalar yürütmektedir.

Bilindiği üzere ülkemiz enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithal etmektedir. Bunun sonucunda ülke ekonomisine büyük bir yük olmasının yanı sıra fosil kökenli yakıtların çevreye verdikleri zararlarda her geçen gün artmaktadır. Ülkemizin kalkınması, sanayileşmesi ve gelişmesi enerji üretimiyle doğru orantılıdır. Bu nedenle enerji sektöründe temel amaç, gelişen ekonominin ve artan nüfusun enerjiyi kesintisiz ve en ekonomik maliyetle karşılayabilmektir. Ulusal çıkarlarımız ise, petrol ve doğalgaz gibi dışa bağımlı yakıtların kullanımının azaltılması için yerel ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışlarını hızlandırmamızı gerekli kılmaktadır.

Alternatif enerji kaynaklarından günümüzde en popüler olanı çevre dostu olmaları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. Biyokütle de yenilenebilir enerji kaynaklardan birisidir ve bu kaynak içerisinde tarımsal atıklar önemli bir paya sahiptir. Ülkemizin geniş tarımsal üretim alanlarına sahip olması alternatif enerji kaynağı olan biyokütle'nin önemini daha da artırmaktadır.

Ülkemiz coğrafî konumu nedeniyle, su, güneş, rüzgâr ve biyokütle olarak sınıflandırabileceğimiz yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça büyük

potansiyele sahiptir. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları üretimi, toplam kömür üretiminden sonra ikinci en yüksek üretime sahiptir. Bu kaynakların yaklaşık üçte ikisini biyokütle oluşturmaktadır. Geri kalan üçte birlik yenilenebilir enerji kaynağının da büyük çoğunluğunu hidroelektrik enerji oluşturmaktadır. Ülkemiz için biyokütlenin özel bir önemi olduğu anlaşılmaktadır. Bu duruma uygun prosesler geliştirilerek biyokütlenin enerji kaynağı olarak değerlendirilmesinde yapılacak olan çalışmaları önemli kılmaktadır (Angın ve Şensöz, 2006).

Ana bileşenleri karbonhidrat bileşikleri olan hayvansal ve bitkisel kökenli tüm doğal maddeler biyokütle, bu kaynaklardan üretilen enerji ise biyokütle enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Biyokütle temiz, CO₂ içermeyen, düşük kükürt içerikli yakıt ve ısı üretimi için kullanılan ve yenilenebilir bir maddedir. Biyokütlenin içeriği, çeşitli organik bileşik ve polimerin kompleks bir karışımıdır. Hemiselüloz, selüloz ve, lignin biyokütlenin temel bileşenleridir. Bu maddelerin özellikleri ve oranları, biyokütlenin çeşidine göre farklılık gösterir (Chen vd, 2011; Prakash ve Karunanithi, 2008). Biyokütle kaynakları son yıllarda araştırmacıların oldukça ilgisini çekmekte olup biyokütleden enerji kaynağı olarak yararlanmak amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır (İslam vd, 2005; Zhang vd, 2005; Prevsuren vd, 2004; Şensöz ve Can, 2002; Çulcuoğlu vd, 2005).

Doğu Karadeniz Bölgesinde her yıl yaklaşık olarak kuru bazda 30 bin ton çay atığı çıkmaktadır (Dok, 2014). Ancak bu potansiyel genellikle değerlendirilmemekte, bir kısmı hayvan altığı olarak serilmekte, geriye kalan önemli bir kısmı ise bahçe kenarlarında yığın olarak kurumaya veya çürümeye bırakılmaktadır. Hatta çoğu zaman gelişigüzel yakılmaktadır. Böyle yüksek kapasiteli bir atığın biyokütle olarak değerlendirilmemesi ülke ekonomisi ve enerji ihtiyacının karşılanması konusunda büyük bir kayıptır.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Boztepe ve Karaca (2009) yapmış oldukları 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) yapmış oldukları 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 çiğidi 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 kullanılarak 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 Dolaşımli 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) yapmış oldukları 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 bacı gazı emisyon değerlerini belirlemişlerdir. Yapılan testler sonucu briketlerin yanma sonrasında ısıl değerlerini karşılaştırdıklarında çeltik kavuzu ve çeltik sapı (3000 cal/g) hariç diğer materyallerin 4000 cal/g ve üzerinde bir ısıl değere sahip oldukları ve bu altı materyal içerisinde 4639 cal/g ısıl değer ile çay atıklarından elde edildikleri belirtmişler ve kül içeriklerinin ise %5.7 - 9.76 arasında değiştiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca çeltik kavuzu ve çeltik sapının ısıl değerlerinin bile ülkemizde çoğunlukla kullanılan kömürlerin (%90) ısıl değerinden daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Kullanılan materyaller için belirlenen ısıl değerlerin kabul edilebilir en düşük ısıl değer (4000 cal/g) 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) tarafından yapılan 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 kg/m³ 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 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 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) tarafından yapılan 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 cal/gr 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) yapmış olduğu 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) yapmış oldukları 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) yapmış oldukları 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) yapılmış olan 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/m³ arasında olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca nemin briket yoğunluğu ve dayanıklılık için önemli bir etken olduğunu ifade etmişlerdir.

Karaca ve Başçentinçelik (2011) yapmış oldukları çalışmada, Hatay ilinde önemli bir ticari değere sahip olan defne (*Laurus nobilis* L.) yaprağının, briketlenerek fiziksel özellikleri, ısıl değerleri ve elementel özelliklerini belirleyerek, Avrupa Birliği standartlar 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 olarak belirlenmiştir. Ayrıca ortalama briket özgül kütlesi 1336 kg/m³ olarak bulunmuş ve briketlerin kırılma direnci 4713 N, kül içeriği %6.8, alt ısıl değeri 19 MJ/kg 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), yapmış oldukları çalışmada, Çukurova Bölgesi'nde yerfıstığı kabuğunun briketlenerek alternatif yakıt oluşturulması amaçlanmış, briketlerin fiziksel özellikleri, ısıl değerleri ve elementle 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 olarak bulunmuştur. Briketlerin, kırılma direnci 4555 N, üst ısıl değerleri 19.57 MJ/kg, 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 glden gl 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 belirlenmiş. Briketleme işlemi 35 MPa sıkıştırma basıncında, 30 saniye basıncı uygulama zamanında ve evre şartlarında gerçekleştirilmiş ve briketleme işlemi için materyal ön işleme tabii tutulmamıştır. Gül yağı işleme atıkları kömür tozu ile 4 farklı oranlarda (%100 gl yağı atığı, %75 gl yağı atığı, %25 kömür tozu, %50 gl yağı atığı - %50 kömür tozu, %25 gl 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/m³ 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 grlmştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan ay Atıkları ve zellikleri

Bu çalışmada, materyal olarak kullanılacak çay atıkları ÇAYKUR Tirebolu ay fabrikasından temin edilmiştir (şekil 3.1).



şekil 3. 1 çay atıkları

Yapılan alışmalar, 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.

Briketleme işlemleri için %10 nem içeriğinde ve iki farklı öğütme inceliğine sahip materyal kullanılmıştır. Altı farklı sıkıştırma basınçlarında elde edilen briketlere ait fiziko-mekanik özelliklerinin yanı sıra yanma sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değerleri ve ısıl değerleri tespit edilmiştir.

3.1.2. Öğütme İşlemi

Denemelerde kullanılacak olan çay atıkları, istenilen parçacık boyutuna getirilmesi için 3 kW gücünde 8 bıçaklı 2800 d/d dönüş hızına sahip çekiçli tip değirmen kullanılmıştır (şekil 3.2). Öğütme işlemleri için çekiçli değirmene takılabilen 5 ve 8 mm delik çapına sahip elekler yardımıyla briketlenecek materyalin öğütme işlemi gerçekleşmiştir. Öğütme işlemlerinden sonra materyalin havadaki neme maruz kalmaması için hava geçirmeyen bir torba yardımıyla depolanmıştır.



Şekil 3. 2 Çekiçli tip değirmen

3.1.3. Briketleme Makinesinin Özellikleri

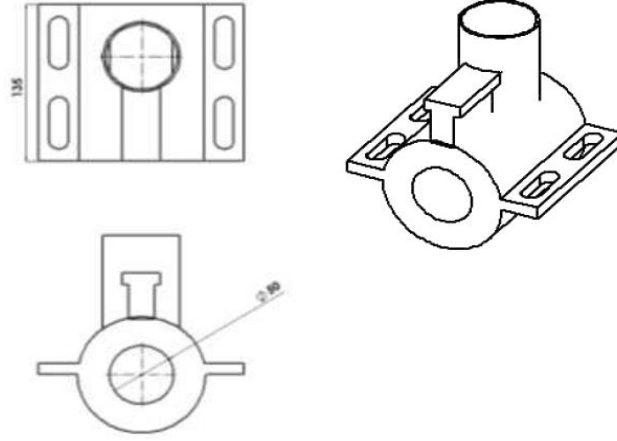
Bölümümüzde bulunan ve sıkıştırma basıncı 0–400 MPa arasında ayarlanabilen hidrolik tip pres makinesi kullanılmıştır.

Materyalin briket üretimi için belirlenen basınç altında ileri geri hareket eden bir piston yardımıyla bir kalıp içerisinde sıkıştırılmaktadır. Hidrolik tip briketleme makinesi 1.2 m³/s 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 mm/s ve 160 MPa sıkıştırma basıncı için 10 mm/s olarak belirlenmiştir. Briketleme makinesinde bulunan hidrolik pompa hareketini 15 kW gücünde olan üç fazlı elektrik motoru yardımıyla almaktadır ve kalıp ısıtıcısı kullanılmamıştır. Öğütülmüş çay atıklarının briketlenmesi için kullanılan hidrolik tip briketleme makinesinin genel görünümü Şekil 3.3 verilmiştir (Demirel, 2015).



Şekil 3. 3 Hidrolik tip briketleme makinesi

Denemeler sonucunda 50 mm çapında 100 mm uzunlukta briketler içi dolu olarak elde edilmiştir. Silindir şeklinde ki kalıbın uzunluğu 135 mm, iç çapı 50 mm ve et kalınlığı 25 mm'dir (Şekil 3.4).



Şekil 3. 4 Atıkların briketlenmesi için kullanılan kalıp

3.1.4. Denemelerde Kullanılan Diğer Alet ve Ekipmanlar

Briketler mekanik dayanıklılık dirençlerinin belirlenmesi için, EN 15210-2 Avrupa Birliği Standardına göre yapılmış, test düzeneğine 5 adet briket yerleştirilmiştir. Briketlerin test düzeneğine yerleştirilmeden önce ağırlığı hassas terazide tartılmış ve kaydedilmiştir. Daha sonra briketler 3 dakika süreyle 40 d/d ile test düzeneğinde döndürülmüştür (Şekil 3.5).

İşlem sonunda briketler dışarı alınarak tekrar tartılmış ve ağırlıkları kaydedilmiştir. Elde edilen değerler standartta belirtilen eşitlikler kullanılarak mekanik dayanıklılık (tumbler) direnci yüzde olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. 5 Mekanik dayanıklılık test düzeneği

Briketlerin sertlik değerlerinin ölçümünde bilgisayar kontrollü ve manuel olarak kontrol edilen Lloyd marka basınç dayanım test cihazı ve başlık olarak 5 kN kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3. 6 Basınç dayanım test cihazı

Briketlerin yakılması sonucu açığa çıkan baca gazı emisyonlarının ölçülmesi için baca gazı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Baca gazı ölçüm cihazı; analizör ünitesi, el kontrol ünitesi ve ölçüm probundan oluşmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3. 7 Baca gazı ölçüm cihazı ve parçaları

Baca gazı ölçümleri Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü bünyesinde bulunan Enerji Tarımı Araştırma Merkezinde yaptırılmış. Baca gazı emisyon değerlerinin ölçülmesi için briketlerin yakılmasında şömine tipi soba kullanılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3. 8 Briketlerin yakılması için kullanılan şömine tipi soba

Briketlerin ısı değerlerinin belirlenmesi amacıyla ilgili analizler Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü bünyesinde bulunan Enerji Tarımı Araştırma Merkezinde yaptırılmış ve ısı değerleri İKA marka C 200 model kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.9) (EN 14918, 2009).



Şekil 3.9. Kalorimetre cihazı

Çay 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 yaptırılmıştır.



a. Kurutma fırını (ETÜV)



b. Kül fırını



b. Hassas terazi



d. Dijital kumpas



e. Kronometre

Şekil 3.10. Kullanılan diğer cihaz ve ekipmanlar

3.2. Metot

3.2.1. Çay Atıklarının Briketlenmesi

Çay atıklarının briketleme işlemi için, sıkıştırma basıncı 0-400 MPa arasında ayarlanabilen hidrolik tip bir briketleme makinesi kullanılmıştır. Briketleme için kullanılan materyalin nem içeriği %10 neme sahiptir. Bu çalışmada 40, 80, 120, 160, 200, 240 MPa olmak üzere 6 farklı sıkıştırma basıncında, çapı 50 mm, uzunluğu 100 mm (D50, L100) briketler elde edilmiştir.

Elde edilen çay atıkları, briketleme öncesi güneş altında kurutulmaya bırakılmıştır. Budama atıklarının istenilen nem değerlerine %10 ulaştıktan sonra toplanan materyal istenilen parçacık boyutlarına (5 ve 8 mm) küçültülmek için çekiçli değirmen yardımıyla öğütülmüştür (Şekil 3.11). Belirlenen nem ve öğütme inceliğindeki materyal hidrolik tip briketleme makinesi kullanılarak briketlenmiştir.



Şekil 3.11. Çay 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. Sıkıştırılan materyalde genleşme olmaması için 25 saniye boyunca pres uygulamaya devam edilmiştir. Briketleme işleminin sonucunda 50 mm çapta ve 100 mm uzunlukları arasında değişen briketler üretilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Çay atıklardan üretilen briketler

3.2.2. Çap ve Uzunluk Ölçümü

Rastgele seçilen 20 adet briketler hassasiyeti 0.1 mm olan kumpas ile çap ve boy ölçümleri yapılarak kayıt edilir. Kaydedilen bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama çap ve boy değeri belirlenir. Bu teste 40, 80, 120, 160, 200 ve 240 MPa basınçlarda sıkıştırılarak elde edilen briket grupları için ayrı ayrı ölçümler yapılmıştır.



Şekil 3.13. Bir briketin çapı ve uzunluğu (D: çap, L: uzunluk)

Çay işleme fabrikaları atıkları briketlerinin fiziksel testleri ile ilgili olarak kırılma (shatter) direnci, biriket yoğunluğu, mekanik dayanıklılık (tumbler) direnci ve biriket sertliği değerleri belirlenmiştir.

3.2.3. Nem İçeriği

Farklı parçacık boyutlarında ki materyallerden alınan numuneler hassas tartı ile tartılarak ağırlık değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra numune örnekleri etüv içerisinde konularak 105 °C kurutma fırınında 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Kurutma işlemi bittikten sonra örnekler fırından çıkarıldıktan sonra ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir. Örneklerin nem içeriğinin belirlenmesi için aşağıdaki denklemden (3.1) yararlanılmış ve nem içeriği hesaplanmıştır. Materyalin nem içeriği EN 14774-1 standardına uygun olarak belirlenmiştir.

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

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),

3.2.4. Materyalin hacim yoğunluğu ve briket yoğunluğu

Briketleme öncesi materyal yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla hacmi belirli bir kaba yığın oluşturacak şekilde materyal belirli bir yükseklikten (150 mm) doldurulmuş ve doldurulan materyalin ağırlığı tartılarak kaydedilmiştir (Şekil 3.14). Aşağıdaki eşitlik (3.2) yardımıyla Materyal yoğunluğu hesaplanmıştır.

Briketlerin yoğunluğunun ölçülmesi EN 15150 Avrupa Birliği Standardında belirtilen yönteme göre belirlenmiştir. Briket yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla hassas terazi ve kumpas kullanılmıştır. Rastgele seçin 10 adet numune üzerinden ölçümler yapılmış ve ilgili eşitlikler kullanılarak briket yoğunlukları hesaplanmıştır.



Şekil 3.14. Materyal hacim ağırlığının belirlenmesi

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

Eşitlikte;

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

N = Materyalin kütlesi (kg)

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

Briket yoğunlunun hesaplanmasında kullanılan eşitlikler:

$$V_p = \frac{D^2 \times \pi \times L}{4} \quad (3.3)$$

V_p : Briket hacmi (cm^3)

D^2 : Briket çapı (cm)

L: Briket uzunluğu (cm)

$$P_d = \frac{W_p}{V_p} \quad (3.4)$$

P_d : Briket yoğunluğu (g/cm^3)

V_p : Briket hacmi (cm^3)

W_p : Briket ağırlığı (g)

3.2.5. Kırılma Direnci (Shatter Index)

Çay 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. Yapılan bu işlen 1 tane biriket 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 40, 80, 120, 160, 200 ve 240 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.

3.2.6. Mekanik Dayanıklılık Direnci (Tumbler Index)

Bu testte, rastgele seçilen 5 adet briket EN15210-2 standardına göre tasarımı yapılmış test düzeneğine (Şekil 3.15) test öncesi tartılarak ağırlığı kaydedildikten sonra test düzeneğine yerleştirilip 5 dakika boyunca 21 d/d (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 40, 80, 120, 160, 200 ve 240 MPa sıkıştırma basınçlarında briketlenmiş briketler için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Aşağıdaki eşitlikten (3.5) yararlanılarak mekanik dayanıklılık (tumbler) direnci yüzde olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.15. Dayanıklılık (tumbler) test düzeneği

$$DU = \frac{mA}{mE} \times 100 \quad (3.5)$$

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 5 kN olan “Lloyd” marka basınç dayanım cihazı kullanılarak kuvvet-deformasyon değerleri belirlenmiştir. İki plaka arasına yerleştirilen numuneye artan bir şekilde yük uygulanmış ve tam parçalanmanın olduğu noktada maksimum yük elde edilmiştir. Bu değer briketlerin kırılmadan önceki dayanabileceği maksimum noktayı göstermektedir.

3.2.8. Kül İçeriğinin Belirlenmesi

Briketlerin kül içerikleri EN 14775 standardına uygun olarak kül fırını (Şekil 3.16) kullanılarak belirlenmiştir. Numunelerden örnekler alınıp etüvde 105 C° de 24 saat bekledikten sonra numuneler kül fırınına koyularak yakılmış ve kül içeriği değeri belirlenmiştir.



Şekil 3.16. Kül fırını görünümü

3.2.9. Briketlerin Isıl Değerinin Belirlenmesi

Briketlerin ısı değeri EN 14918 standartlarına göre kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.17). Briketlerin ısı değeri IKA marka C 200 model kalorimetre cihazı (Şekil 3.18) kullanılarak belirlenmiştir. Kalorimetre analizi için örnek hazırlamada IKA C 240 oksijen dolum makinesi kullanılarak yapılmıştır (EN 14918).



Şekil 3.17. Yakıt bombası



Şekil 3.18. Kalorimetre cihazı

3.2.10. Baca Gazı Emisyon Değerlerinin Belirlenmesi

Briketlerin yakılması için özel olarak yapılmış briket soba kullanılmıştır. Denemelerde cihazın algılayıcı ucu baca çıkışından 1 m uzaklıkta açılmış olan delikten borunun merkezine gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Yanma sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değeri (CO (ppm), CO₂ (%), O₂(%), NO (ppm), NO_x (ppm), SO₂ (ppm) birer dakika aralıklarla okunarak baca gazı ölçüm cihazı 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 $2 \times 6(3)$ 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 her yıl yetiştiriciliği yapılan çayın işlenmesinden sonra açığa çıkan çay atıklarının belirli standartlar çerçevesinde briketlenerek katı biyoyakıt olarak kullanıma 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 çay atıkları, (5 ve 8 mm) Öğütme işleminden sonra, %10 nem içeriğine sahip ve 6 farklı sıkıştırma basıncında (40, 80, 120, 160, 200, 240 MPa) briketlenmiştir.

4.1. Briketleme Yapılacak Materyalin Fiziksel Özellikleri

Çay atıkları öğütme işlemi için farklı delik çaplarına sahip eleklerin takılı olduğu çekiçli tip değirmende öğütülmüştür. Öğütülen atıklar denemeler için belirlenen 5 ve 8 mm parçacık boyutlarında materyaller elde edilmiştir. Materyallerin nem içeriğinin belirlenmesinde Avrupa Birliği’nin yayınladığı EN 14774-1 standartlar ve 2015 yılında Coşereanu 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.

Parçacık boyutlarına bağlı olarak çay atıkları için tek nem içeriğine sahip ve 5, 8 mm parçacık boyutların da ki materyal hacim ağırlıklarında ki değişimler aşağıdaki Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4. 1 Öğütme inceliklerinde materyal hacim ağırlıkları

Nem içeriği (%)	Öğütme inceliği (mm)	Ortalama ham materyal hacim yoğunluğu (kg/m ³)
10	5	270.03
	8	240.41

Tablo 4.1 incelendiğinde materyal yoğunluğu bakımından en düşük yoğunluğa sahip değer 8 mm öğütme inceliğinde 240.41 kg/m³ ile elde edilmiştir. En yüksek hacim yoğunluğu ise 5 mm öğütme inceliğinde 270.03 kg/m³ olarak elde edilmiştir.

4.2. Briket Yoğunluğu

Çay atıkları %10 nem içeriğinde, 5 ve 8 mm öğütme inceliğine sahip materyaller 80, 120, 160, 200 ve 240 MPa basınç altında hidrolik tip briketleme makinesi

kullanılarak briketlenmiştir. Farklı basınçlar altında briketlenen briketlere ait briket yoğunluk değerleri aşağıda tablodaki gibidir.

Tablo 4. 2 Elde edilen briketlerin yoğunluğu

Nem içeriği (%)	Öğütme inceliği (mm)	Basınç (MPa)	Briket yoğunluğu (kg/m ³)
10	5	40	684.6 ± 4.60 ^{ij}
		80	853.19 ± 8.27 ^{g-j}
		120	961.92 ± 7.33 ^{de}
		160	1011.37 ± 19.02 ^d
		200	1100.19 ± 16.02 ^c
		240	1090.32 ± 12.95 ^{bc}
10	8	40	657.21 ± 21.82 ^j
		80	819.06 ± 26.41 ^{efg}
		120	923.44 ± 15.27 ^{efg}
		160	970.91 ± 8.59 ^{e-h}
		200	1056.18 ± 10.64 ^{def}
		240	1046.7 ± 11.88 ^{hij}
P (Önemlilik)			< 0.001

Tablo 4.2 incelendiğinde öğütme inceliği ve basıncın briket yoğunlukları üzerine etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir (P<0.001). En yüksek briket yoğunluğu 5 mm öğütme inceliğinde 200 MPa sıkıştırma basıncında 1100.19 kg/m³, en düşük briket yoğunluğu ise 8 mm öğütme inceliğinde 40 MPa sıkıştırma basıncında 657.21 kg/m³ olarak tespit edilmiştir. Sıkıştırma basıncının artmasına paralel olarak briket yoğunluklarının da arttığı gözlemlenmiştir.

Elde edilen briket hacim ağırlıklarının büyük bir kısmının literatür de belirtilen 1000 kg/m³ değer ile paralellik göstermesi sonucu briketleme işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir (Plíštil vd., 2005).

4.3. Briketlerin Mekanik Dayanıklılık Testi (Tumbler)

Briketlerin mekanik dayanıklılığı; briketlerin taşınmasından yakma zamanına kadar geçen sürede parçalanmadan bir bütün halinde kaması önemli bir değerdir. Bu yüzden mekanik dayanıklılık testi önemli bir unsurdur.

Çay atıklarından elde edilen briketlerin mekanik dayanıklılık test sonucu değerleri aşağıda tablodaki gibidir.

Tablo 4. 3 Elde edilen briketlerin mekanik dayanıklılık değerleri

Nem içeriği (%)	Öğütme inceliği (mm)	Basınç (MPa)	Mekanik dayanıklılık direnci (%)
10	5	40	68.03 ± 0.4 ⁱ
		80	93.67 ± 0.33 ^c
		120	97.39 ± 0.25 ^a
		160	97.55 ± 0.26 ^k
		200	97.82 ± 0.21 ^{de}
		240	98.08 ± 0.48 ^b
10	8	40	64.33 ± 0.16 ^h
		80	87.67 ± 0.41 ^c
		120	94.59 ± 0.37 ^b
		160	92.35 ± 0.24 ⁱ
		200	92.52 ± 0.23 ^d
		240	93.68 ± 0.20 ^{ef}
P (Önemlilik)			< 0.001

Tablo 4.3 incelendiğinde en yüksek dayanıklılık değeri 5 mm öğütme inceliğinde 240 MPa sıkıştırma basıncında %98.08 olarak belirlenmiştir. En düşük dayanıklılık değere ise 8 mm öğütme inceliğinde 40 MPa sıkıştırma basıncında %64.33 olarak tespit edilmiştir. Tablo istatistiksel olarak incelendiğinde öğütme inceliğinin ve sıkıştırma basıncının mekanik dayanıklılık değerlerine etkisinin olduğu önemli bulunmuştur (P<0.001). Sıkıştırma basıncının artması ile birlikte mekanik dayanıklılık değerlerinin de artış gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen briketlerin mekanik dayanıklılık değerleri EN 14961-1 Avrupa Birliği Standardında belirtilen mekanik dayanıklılık değerleri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

4.4. Briketlerin Kırılma Direnci (Shatter)

Çay atıklarından elde edilen briketlerin kırılma direnci aşağıda tablodaki gibidir.

Tablo 4. 4 Elde edilen briketlerin kırılma direnci değerleri

Nem içeriği (%)	Öğütme inceliği (mm)	Basınç (MPa)	Kırılma direnci (%)
10	5	40	78.46 ± 1.06 ^{hi}
		80	94.04 ± 1.36 ^{fgh}
		120	97.75 ± 1.71 ^{b-e}
		160	98.24 ± 0.88 ^{b-e}
		200	98.47 ± 1.24 ^{d-g}
		240	99.13 ± 0.56 ^{fgh}

10	8	40	75.43 ± 0.50 ^{gh}
		80	90.12 ± 0.96 ^{efg}
		120	94.25 ± 1.76 ^{a-d}
		160	96.34 ± 0.95 ^{b-e}
		200	96.67 ± 0.90 ^{b-f}
		240	97.93 ± 0.51 ^{d-g}
P (Önemlilik)		< 0.001	

Briketlerin depolanması, nakliyesi ve torbalara doldurulması esnasında çarpmalar sonucu kırılmaya karşı gösterdikleri direnç için yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda, briketlerin farklı öğütme inceliği ve basınçlar altında sıkıştırılması sonucu elde edilen briketler arasındaki fark önemli bulunmuştur (P<0.001). Tablo 4.4 incelendiğinde 5 mm öğütme inceliğinde 240 MPa sıkıştırma basıncında briketlenen briketlerin kırılmaya karşı en yüksek dayanıklılık gösterdiği belirlenmiştir. Aynı tablo incelendiğinde en düşük değer ise 8 mm öğütme inceliğinde 40 MPa sıkıştırma basıncında elde edilmiştir. Yapılan bu test sonucunda sonuçların (Kürklü ve Bilgin, 2005; Bilgin ve Akan, 2012; Bilgin ve vd., 2015) yaptıkları çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

4.5. Briketlerin Sertlik Direnci

Çay atıklarından elde edilen briketlerin sertlik dirençleri aşağıda tablodaki gibidir.

Tablo 4. 5 Elde edilen briketlerin sertlik direnci değerleri

Nem (%)	İçeriği (%)	Öğütme inceliği (mm)	Basınç (MPa)	Sertlik direnci (N)
10	5	40		804.83 ± 70.07 ^{cd}
		80		2821.34 ± 12.40 ^b
		120		4444.11 ± 22.23 ⁿ
		160		6892.83 ± 18.71 ^j
		200		8517.89 ± 36.96 ^f
		240		10963.2 ± 42.14 ^a
10	8	40		635.5 ± 98.62 ^g
		80		2228.8 ± 208.59 ^{fg}
		120		3510.84 ± 22.19 ⁱ
		160		5445.33 ± 38.31 ⁱ
		200		6729.13 ± 30.65 ^e
		240		8660.92 ± 0.20 ^c
P (Önemlilik)		< 0.001		

Tablo 4.5 incelendiğinde öğütme inceliği ve sıkıştırma basıncının briket sertlik değerleri üzerine etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir ($P<0.001$). En yüksek briket sertlik direnci 5 mm öğütme inceliğinde ve 2400 MPa sıkıştırma basıncında 10963.2 N olarak belirlenmiştir. Ayrıca direnci en düşük briket ise 8 mm öğütme inceliğine sahip 40 MPa sıkıştırma basıncında 635.5 N olarak elde edilmiştir. Sertlik değeri en yüksek olan briket yüksek kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Karaca ve Başçetinçelik, 2010).

4.6. Briketlerin Kül İçeriği ve Isıl Değerleri (Kuru Baz)

Çay atıklarından elde edilen briketlerin yanma sonucu açığa çıkan ısı değer ve kül içerikleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 4. 6 Elde edilen briketlerin ısı değer ve kül içerikleri

Isıl Değer (MJ/kg)	Kül İçeriği (%)
18.84	4.47

Tablo 4.6 incelendiğinde briketlere ait ısı değer 18.84 MJ/kg olarak tespit edilmiştir. EN plus-A1, EN plus-A2 ve EN-B sınıfı briketler için EN 14918 Avrupa Birliği Standardında briketlerin ısı değerinin en düşük 14.9 MJ/kg olması istenilmiştir. Elde edilen sonuçlar belirtilen standarttan daha yüksek çıkmıştır.

Tablo 4.6 incelendiğinde briketlere ait kül içeriği %4.47 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 ısı değerlerinden daha yüksek, kül içeriği bakımından ise daha düşük çıkmıştır. Çay atıklarından elde edilen briketler ile yapılan testler sonucunda veriler paralellik göstermiştir.

4.7. Baca Gazı Emisyon Değerleri (Kuru Baz)

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. Çay atıklarından elde edilen briketlerin yanma sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değerleri aşağıda tablodaki gibidir.

Tablo 4. 7 Yanma sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değerleri

O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	Nox (ppm)	SO ₂ (ppm)
18.0	2.9	1743.0	88.0	92.3	4.0

Yapılan bu çalışmada ortaya çıkan sonuçlar ile (Acar vd., 2016) tarafından yapılan bazı tarımsal atıkların (çay fabrikası atıkları, fındık zurufu, çeltik sapı, çeltik kavuzu, ayçiçeği, buğday, mısır ve kolza sapı) baca gazı emisyon değerleri ile kıyaslandığında genel olarak aynı değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4. 8 İKHKKY emisyon 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 4.8’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

Doğu Karadeniz Bölgesinde her yıl yaklaşık olarak kuru bazda 30 bin ton çay atığı çıkmaktadır (Dok, 2014). Ancak bu potansiyel genellikle değerlendirilmemekte, bir kısmı hayvan altlığı olarak serilmekte, geriye kalan önemli bir kısmı ise bahçe kenarlarında yığın olarak kurumaya veya çürümeye bırakılmaktadır. Hatta çoğu zaman gelişigüzel yakılmaktadır.

Bu çalışmada çay atıkları briket formunda katı biyoyakıt haline getirilmiştir. Yapılan denemelerde 5 ve 8 mm öğütme inceliğinde, %10 nem içeriğine sahip materyaller 6 farklı briketleme basıncı altında briketlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Briketlerin materyal yoğunluğuna bakıldığında 240.41-270.03 kg/m³ arasında değiştiği görülmektedir. Hacim yoğunluğu en fazla olan briket 5 mm öğütme inceliğinde elde edilmiştir.

Briketlerin yoğunlukları incelendiğinde 684.6 - 1100.37 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 elde edilmiştir.

Öğütme inceliği ve sıkıştırma basınçlarının briket hacim yoğunluğu üzerine olan etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P<0.001).

Çay atıklarından elde edilen briketlerinin mekanik dayanıklılık dirençleri %68.03-98.08 arasında değişmektedir. Dayanıklılık direnci en fazla olan briket, 5 mm öğütme inceliğinde 240 MPa sıkıştırma basıncında elde edilmiştir. Veriler incelendiğinde öğütme inceliği ve sıkıştırma basıncı grupları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir (P<0.001).

Briketlerin kırılma direnci (Shatter) testi sonucunda dayanıklılık dirençlerinin %75.43-99.13 arasında değiştiği görülmektedir. Briketlerin kırılmaya karşı gösterdikleri direnç en yüksek 5 mm öğütme inceliğinde ve 240 MPa sıkıştırma basıncında elde edilmiştir. Yapılan istatistiksel çalışma sonucunda öğütme inceliği ve sıkıştırma basıncı briketler üzerinde ki etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir (P<0.001).

Briketlerin sertlik direnci en yüksek değer 5 mm öğütme inceliğinde 240 MPa sıkıştırmabasıncında elde edilen briketlerde 10963.2 N olarak belirlenmiştir.

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 %4.47, alt ısı değeri 18.84 MJ/kg olarak tespit edilmiştir. Bu değer (EN 14961-3, 2011) standartta da belirtilen kül (≤ 3.0) içeriğinin üstünde olduğunu, ısı değeri ($\geq 14,9$) olarak ise üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum, fosil kökenli yakıtlarla karşılaştırıldığında ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan linyit kömürünün yanma sonucu açığa çıkan ısı (11.5 MJ/kg) ve kül oranı (%19.10) bakımından çok daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Çalışmada kullanılan Çay atıkları çeşitli işlemlerden geçirilerek ve herhangi bir katkı maddesi kullanılmadan kaliteli ve sağlam briketler elde edilmiştir.

Çay atıklarının, briketlemesi için en uygun öğütme inceliği 5 mm olduğu ve en uygun sıkıştırma basıncının 240 MPa olduğu belirlenmiştir.

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.

Bir tarım ülkesi olmamıza rağmen ülke ekonomisine büyük bir yük olan enerjinin, tarımsal faaliyetler sonucunda ortaya çıkan atıkların biyoyakıt olarak değerlendirilip enerjide de dışa bağımlılığın azaltılmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca tarımsal faaliyetler sonucunda ortaya çıkan atıkların biyoyakıtla 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
- 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). Pirinanın Biyoyakıt Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması Ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. 2. *Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu*, 27-30 Eylül 2016, Samsun.
- Angın D. ve Şensöz S. 2006. Aspir Tohumu Pres Küspesinin Piroлизinde Sürükleyici Gaz (N₂) Akış Hızının Etkisi ve Sıvı Ürün Karakterizasyonu. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimi Dergisi*, 18:4, 535-542.
- Anonim. (2019). Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrol Yönetmeliği. <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.7265&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=%C4%B1s%C4%B1nadan%20kaynaklanan>, Erişim: 11 Mayıs 2019.
- 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.
- Bilgin, S. ve Akan, H. (2012). Pamuk Saplarının Hidrolik Tip 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.
- Chen, T., Wu, C., Liu, R., Fei, W. and Liu, S. 2011. Effect of hot vapor filtration on the characterization of bio-oil from rice-husks with fast pyrolysis in a fluidized-bed reactor. *Bioresource Technology*, 102, 6178-6185.
- Coşoreanu, 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).
- Çulcuoğlu, E., Unay., E., Angın, D., Sensoz, S. ve Karaosmanoğlu, F. 2005. Characterization the Bio-Oil of Rapeseed Cake. *Energy Sources*, 27:13 1217-1223.
- 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 Değerlendirilebilme Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, OMÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Dok M. 2014. Karadeniz Bölgesinin tarımsal atık potansiyeli ve bunlardan pelet yakıt olarak yararlanılması. *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı*, 28-29 Mayıs, 211-222, Samsun.
- 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.
- EN 14774-1. 2009. Solid biofuels-Determination of moisture content-Oven dry method-Part 1: Total moisture-Reference method.
- EN 14775. 2009. Solid biofuels-Determination of ash content.

- EN 14961-1. Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 1: General requirements.
- EN 14918. (2009). Solid biofuels - Determination of calorific European Committee for Standardization: Management Centre, Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels.
- EN 14961-3. (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.
- EN 15150, 2011. Solid biofuels-Determination of particle density.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Prakash, N. ve Karunanithi, T. 2008. Kinetic modeling in biomass pyrolysis- A review. *Journal of Applied Sciences Research*, 4:12, 1627-1636.
- Prevsuren, B., Avid, B., Gerelmaa, T. and Davaajav, Y.M. 2004. The Characterization of Tar from the Pyrolysis of Animal Bones. *Fuel*, 83:(7-8) 799-805.
- 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.
- Şensöz, S. ve Can, 2002. M. Pyrolysis of Pine (*Pinus brutia* Ten.) Chips: 1. Effect of Pyrolysis Temperature and Heating Rate on the Product Yields. *Energy Sources*, 24:4 347-355.
- Zhang, S., Yan, Y., Li, T. and Ren, Z. 2005. Upgrading of Liquid Fuel from the Pyrolysis of Biomass. *Bioresource Technology*, 96:5, 545-550.

ÖZGEÇMİŞ

Yiğit Hasret TURGUT Çorum ilinde dünyaya geldi. İlköğretim,ortaöğretim ve lise eğitimlerini doğduğu şehirde tamamladı. Akabinde 2005 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ziraat Mühendisliği bölümünü kazandı ve üniversite eğitimini Samsunda tamamladı. Vatani görevini yaptıktan sonra Ziraat Bankasında Çorum Şubesinde çalışmaya başladı.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0374-668X>