

**T. C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FINDIK ZURUFU, MISIR VE AYÇİÇEĞİ SAPLARININ
KATI BİYİYAKIT OLARAK DEĞERLENDİRİLEBİLME
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Bahadır DEMİREL

Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

**HAZİRAN 2015
SAMSUN**



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**TARIM MAKİNELERİ VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**FINDIK ZURUFU, MISIR VE AYÇİÇEĞİ SAPLARININ KATI BİYORYAKIT
OLARAK DEĞERLENDİRİLEBİLME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

**Bahadır DEMİREL
09210513**

Tezin Savunma Tarihi : 25 Haziran 2015

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL

Bu Doktora Tez Çalışması Ondokuz Mayıs Üniversitesi ZRT.1904.12.013 nolu proje ile BAP tarafından ve 1120454 nolu poje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalında
Bahadır DEMİREL Tarafından Hazırlanan

FINDIK ZURUFU, MISIR VE AYÇİÇEĞİ SAPLARININ KATI
BİYOYAKIT OLARAK DEĞERLENDİRİLEBİLME
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 25/06/2015 tarihinde yapılan sınav ile
DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : **Prof. Dr. Mehmet Arif BEYHAN**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK
Çukurova Üniversitesi

Doç. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Sefai BİLGİN
Akdeniz Üniversitesi

.../.../2015

Prof. Dr. Hüseyin DEMİR
Enstitü Müdürü





Eşime ve aileme,



ÖNSÖZ

Her gün kömür, petrol doğalgaz gibi yüz binlerce yılda meydana gelmiş fosil yakıtları yakarak enerji ihtiyacımızı karşılıyoruz. Atmosfere salınan karbondioksit, etkisini ısı olarak açıkça hissettirmeye başladığı günümüzde iklim değişikliği felaketini gerçekten önlemek istiyorsak enerji üretme yöntemlerinde köklü değişiklikler yapmalıyız. Bu yüzden büyük çevresel felaketlere sebep olabilecek fosil enerji kaynakları yerine alternatif yenilenebilir enerji kaynakları kullanılması önümüzde duran en iyi çözümlerden birisidir.

Ülkemiz zengin tarımsal potansiyeli ile gelişmekte olan bir ülke olup bu potansiyelinden dolayı tarım alanlarından büyük miktarlarda tarımsal artık açığa çıkmaktadır. Biyokütlenin son yıllarda çevresel ve evsel kullanım özelliklerinden dolayı alternatif yenilenebilir yakıt olarak değerlendirildiği bilinmektedir. Her yıl büyük miktarlarda açığa çıkan tarımsal artıkların değerlendirilerek geri kazandırılması, hem ülke ekonomisi açısından hem de çevresel faktörler açısından büyük bir kazanç olabilecektir. Bu çalışma ile Karadeniz Bölgesinde, başta fındık olmak üzere ayçiçeği ve mısır bitkisi tarımsal artıklarının optimum briketleme parametreleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma sayesinde değerlendirilmeyen bu tarımsal artıklardan yakacak briket elde edilebilir. Bu amaçla kurulacak tesislerin orta ölçekta kırsalda kurulacak olunmasıyla kırsal istihdama ve kırsal kalkınmaya hizmet edinilmiş olunacaktır. Ayrıca, kırsal kalkınmanın en önemli öğelerinden birisi olan tarıma dayalı sanayinin yine kırsalda kurulmasına ve kırsalda yaşayan insanlara istihdam sağlanılmasına katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma boyunca bilgi, yardım ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL'e, artıkların briketlenmesinde kullanılan hidrolik tip briketleme makinesinin tasarımı ve imalatı konusunda yardımlarını esirgemeyen Bölüm Başkanımız sayın Prof. Dr. Mehmet Arif BEYHAN'a, önerileriyle beni yönlendiren sayın Yrd. Doç. Dr. Sefai BİLGİN'e, bölümdeki değerli hocalarıma, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü ve Enerji Tarımı Araştırma Merkezi'nin başta sayın Mustafa ACAR ve Mahmut DOK olmak üzere değerli personellerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, çalışmalarım sırasında bana her türlü sabır ve desteği gösteren Annem ve sevgili eşim Özge PEHLEVAN DEMİREL'e çok teşekkür ederim

Haziran 2015

Bahadır DEMİREL



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR	xv
FINDIK ZURUFU, MISIR VE AYÇİÇEĞİ SAPLARININ KATI BİYOYAKIT OLARAK DEĞERLENDİRİLEBİLME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI	xvii
ÖZET.....	xvii
INVESTIGATING THE UTILIZATION POSSIBILTY OF HAZELNUT HUSK, MAIZE AND SUNFLOWER STALKS AS A SOLID BIOFUEL	xix
ABSTRACT	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Dünyada Enerji Üretim ve Tüketim Durumu	2
1.2 Türkiye’de Enerji Üretim ve Tüketim Durumu.....	3
1.3 Enerji Kaynakları.....	4
1.3.1 Fosil enerji kaynakları.....	5
1.3.2 Yenilenebilir enerji kaynakları.....	6
1.4 Biyokütle Enerjisi	8
1.5 Biyokütle Enerji Kaynakları	10
1.6 Dünyada Biyokütle Potansiyeli ve Kullanımı	10
1.7 Türkiye’de Biyokütle Potansiyeli ve Kullanımı	12
1.8 Türkiye’de Tarımsal Artık Potansiyeli Durumu.....	14
1.9 Biyokütle Enerjisinin Çevreye Olan Etkileri.....	16
1.10 Briketleme ve Biyokütle Briketleme Teknolojileri.....	17
1.10.1 Briketlemenin ana temelleri	18
1.10.2 Briketleme işleminde etkili faktörler	18
1.11 Briketleme Teknolojileri	20
1.11.1 Piston presli briketleme makinesi	20
1.11.2 Vidalı (helezon) tip briketleme makinesi.....	21
1.11.3 Hidrolik pistonlu briketleme makineleri	23
1.12 Briket Karakteristikleri.....	24
1.13 Tezin Amacı	24
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	27
3. MATERYAL VE METOT	49
3.1 Materyal	49
3.1.1 Kullanılan tarımsal artıklar ve özellikleri.....	49
3.1.1.1 Fındık zurufu tarımsal artığı.....	50
3.1.1.2 Mısır sapı tarımsal artığı.....	51
3.1.1.3 Ayçiçeği sapı tarımsal artığı.....	53
3.1.2 Öğütme işlemi	55
3.1.3 Briketleme makinesinin özellikleri.....	56
3.1.4 Denemelerde kullanılan diğer cihazlar	60
3.2 Metot.....	63
3.2.1 Tarımsal artıkların briketlenmesi.....	63
3.2.2 Briketlerin fiziksel özellikleri	64

3.2.2.1 Materyal ve briket hacim ağırlığı	65
3.2.2.2 Hammadde ve briketlerin nem içeriği	65
3.2.2.3 Düşme-dayanıklılık (tumbler) direnci	66
3.2.2.4 Kırılma (shatter) direnci	66
3.2.2.5 Su alma kapasitesi	67
3.2.2.6 Eşdeğer nem içeriği (hava nemi direnci)	67
3.2.3 Isıl değerlerin belirlenmesi	67
3.2.4 Kül içeriğinin belirlenmesi	68
3.2.5 Baca gazı emisyon değerleri	68
4 BULGULAR VE TARTIŞMA	71
4.1 Tarımsal Artıkların Özellikleri	71
4.2 Briketlere Ait Bulgular	73
4.2.1 Briket nem içeriği	73
4.2.2 Briket hacim ağırlığı	74
4.2.3 Düşme-dayanıklılık direnci (tumbler indeksi)	82
4.2.4 Kırılma direnci (shatter indeksi)	89
4.2.5 Su alma kapasitesi	98
4.2.6 Hava nemi direnci	105
4.3 Briketlerin Baca Gazı Emisyon Değerleri	109
4.4 Briketlere Ait Isıl Değerler ve Kül İçerikleri	112
5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	115
5.1 Sonuçlar	115
5.2 Öneriler	118
KAYNAKLAR	121
ÖZGEÇMİŞ	129

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Ülkelerin brincil enerji tüketim değerleri	2
Çizelge 1.2. Yenilenebilir enerji kaynaklarının üstünlükleri ve olumsuz yönleri	7
Çizelge 1.3. Dünyadaki biyokütle enerji miktarları	11
Çizelge 1.4. Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı	13
Çizelge 1.5. Türkiye'nin sahip olduğu tarımsal alan	15
Çizelge 1.6. Türkiye toplam biyokütle potansiyeli	15
Çizelge 1.7. Türkiye tarımsal biyokütle potansiyeli	16
Çizelge 1.8. Türkiye'de bazı tarımsal ürünlere ait biyokütle potansiyeli	16
Çizelge 1.9. Vidalı ve pistonlu briketleme makinelerinin karşılaştırılması	22
Çizelge 3.1. Bölgelere göre fındık üretim alanları ve üretim miktarları	50
Çizelge 3.2. Bölgelere göre mısır bitkisi üretim alanları ve üretim miktarları	52
Çizelge 3.3. Bölgelere göre ayçiçeği bitkisi üretim alanları ve üretim miktarları	53
Çizelge 3.4. Karadeniz bölgesinde yetiştirilen fındık, ayçiçeği ve mısır bitkilerine ait tahmini kuru biyokütle miktarı ve ısı değeri	55
Çizelge 3.5. Baca gazı ölçüm cihazına ait teknik özellikleri	61
Çizelge 3.6. Emisyon ölçümlerinde kullanılan şömine tipi soba	61
Çizelge 4.1. Parametre kısaltmaları	71
Çizelge 4.2. Tarımsal artıkların parçacık boyut dağılımı (%) (2-5 mm)	72
Çizelge 4.3. Tarımsal artıkların parçacık boyut dağılımı (%) (7-10 mm)	72
Çizelge 4.4. Farklı P, M ve PB'da materyal hacim ağırlıkları	72
Çizelge 4.5. Briketlerin ilk çıkış ve 7. gün nem içeriği değerleri	73
Çizelge 4.6. Fındık zurufta briketlerinin sıkıştırma oranları	75
Çizelge 4.7. Ayçiçeği sapı briketlerinin sıkıştırma oranları	75
Çizelge 4.8. Mısır sapı briketlerinin sıkıştırma oranları	76
Çizelge 4.9. Sıkıştırma basıncının briket hacim ağırlığına etkisi	77
Çizelge 4.10. Nem içeriğinin briket yoğunluğuna etkisi	77
Çizelge 4.11. Parçacık boyutunun briket hacim ağırlığına etkisi	78
Çizelge 4.12. Farklı P, M ve PB parametrelerin etkisi altında materyallerin briket hacim ağırlıkları	79
Çizelge 4.13. Sıkıştırma basıncının düşme-dayanıklılık direncine etkisi	82
Çizelge 4.14. Nem içeriğinin düşme-dayanıklılık direncine etkisi	83
Çizelge 4.15. Parçacık boyutunun düşme-dayanıklılık direncine etkisi	84
Çizelge 4.16. Farklı SB, Nİ ve PB parametrelerin etkisi altında briketlerin düşme-dayanıklılık direnci değişimleri	84
Çizelge 4.17. Sıkıştırma basıncının kırılma direncine etkisi	89
Çizelge 4.18. Nem içeriğinin kırılma direncine etkisi	90
Çizelge 4.19. Parçacık boyutunun kırılma direncine etkisi	90
Çizelge 4.20. Farklı P, M ve PB parametrelerin etkisi altında briketlerin kırılma direnci değişimleri	91
Çizelge 4.21. Sıkıştırma basıncının su alma direncine etkisi	98
Çizelge 4.22. Nem içeriğinin su alma kapasitesine etkisi	99
Çizelge 4.23. Parçacık boyutunun su alma kapasitesine etkisi	100
Çizelge 4.24. Briketlerin 2. dakika su alma kapasitelerindeki değişim	100
Çizelge 4.25. Sıkıştırma basıncının hava nemi direncine etkisi	105
Çizelge 4.26. Nem içeriğinin hava nemi direncine etkisi	106

Çizelge 4.27. Parçacık boyutunun hava nemi direncine etkisi	106
Çizelge 4.28. Briketlerin hava nem içeriği değerlerindeki değişim.....	107
Çizelge 4.29. 80 MPa sıkıştırma basıncında briketler için ölçülen en yüksek baca gazı emisyon değerleri	109
Çizelge 4.30. 160 MPa sıkıştırma basıncında briketler için ölçülen en yüksek baca gazı emisyon değerleri	110
Çizelge 4.31. IKHKKY sınır değerleri	110
Çizelge 4.32. FZ briketlerine ait baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi değerleri.....	111
Çizelge 4.33. AS briketlerine ait baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi değerleri	111
Çizelge 4.34. MS briketlerine ait baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi değerleri....	111
Çizelge 4.35. Tarımsal artıklara ait kül içerikleri ve üst ısı değerler	112



ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Dünyada yakıt türlerine göre enerji tüketimi tahmini	3
Şekil 1.2. Türkiye toplam birincil enerji üretimi ve arzı	4
Şekil 1.3. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması	5
Şekil 1.4. Biyokütlenin oluşum ve tüketim süreci	9
Şekil 1.5. Biyokütle enerji kaynakları	10
Şekil 1.6. Briketlemede işleminde yapışma aşamaları	18
Şekil 1.7. Piston presli briketleme makinesi	20
Şekil 1.8. Konik silindirik pistonlu briketleme makinesi	21
Şekil 1.9. Vidalı (helezonlu) briketleme makinesi	21
Şekil 1.10. Hidrolik pistonlu briketleme makinesi	23
Şekil 3.1. Tarımsal artık resimleri	49
Şekil 3.2. Fındık bitkisi artık resimleri	51
Şekil 3.3. Mısır bitkisi artık resimleri	52
Şekil 3.4. Ayçiçeği bitkisi artık resimleri	54
Şekil 3.5. Zurufların farklı incelikte öğütülmesinde kullanılan çekiçli değirmen	56
Şekil 3.6. Tarımsal artıkların öğütülmesi	56
Şekil 3.7. Hidrolik tip briketleme makinesi	58
Şekil 3.8. Hidrolik tip briketleme makinesinin ana elemanları	59
Şekil 3.9. Artıkların briketlenmesinde kullanılan kalıp	59
Şekil 3.10. Düşme-dayanıklılık test düzeneği	60
Şekil 3.11. Baca gazı ölçüm cihazı ve parçaları	60
Şekil 3.12. Briketlerin yakılmasında kullanılan şömine tipi soba	62
Şekil 3.13. a) Etüv, b) Kül fırını, c) Basit terazi, d) Hassas terazi, e) Dijital kumpas, f) Kronometre	62
Şekil 3.14. Kalorimetre cihazı	63
Şekil 3.15. Tarımsal artıklardan üretilen briketler	64
Şekil 3.16. Materyal hacim ağırlığının belirlenmesi	65
Şekil 3.17. a) Düşme-dayanıklılık testi, b) Kırılma testi, c) Su alma kapasitesi testi	67
Şekil 3.18. Baca gazı ölçüm cihazı probunun yerleştirilmesi	69
Şekil 4.1. FZ tarımsal atığından elde edilen briketler	80
Şekil 4.2. AS tarımsal atığından elde edilen briketler	81
Şekil 4.3. MS tarımsal atığından elde edilen briketler	82
Şekil 4.4. FZ briketlerinin düşme-dayanıklılık direnci testi sonrası görünüşleri	86
Şekil 4.5. AS briketlerinin düşme-dayanıklılık direnci testi sonrası görünüşleri	87
Şekil 4.6. MS briketlerinin düşme-dayanıklılık direnci testi sonrası görünüşleri	88
Şekil 4.7. FZ briketlerinin kırılma direnci testi sonrası görünüşleri (M:%8-10)	92
Şekil 4.8. FZ briketlerinin kırılma direnci testi sonrası görünüşleri (M:%13-15)	93
Şekil 4.9. AS briketlerinin kırılma direnci testi sonrası görünüşleri (M:%8-10)	94
Şekil 4.10. AS briketlerinin kırılma direnci testi sonrası görünüşleri (M:%13-15)	95
Şekil 4.11. MS briketlerinin kırılma direnci testi sonrası görünüşleri (M:%8-10)	96
Şekil 4.12. MS briketlerinin kırılma direnci testi sonrası görünüşleri (M:%13-15)	97
Şekil 4.13. FZ briketlerinin 2. dakika sonrası su alma kapasitesi testi sonrası görünüşleri	102
Şekil 4.14. AS briketlerinin 2. dakika sonrası su alma kapasitesi testi sonrası görünüşleri	103

Şekil 4.15. MS briketlerinin 2. dakika sonrası su alma kapasitesi testi sonrası görünümleri	104
Şekil 4.16. Briketlerin 21 gün bekletildikten sonra görünümleri	108



KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AS	: Ayçiçeği sapı
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BEP	: Biyokütle enerjisi potansiyeli atlası
BP	: British petrol
BTEP	: Bin ton eşdeğer petrol
BTU	: British Thermal Unit
CRA	: Centre de Recherches Agronomiques
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FAO	: Food and Agricultural Organization
FZ	: Fındık zurufu
GEKA	: Güney Ege Kalkınma Ajansı
GTEP	: Giga ton eşdeğer petrol
IEA	: International Energy Agency
IKHKKY	: Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
KTAE	: Karadeniz Tarımsal Araştırma Merkezi
MS	: Mısır sapı
MTEP	: Milyon ton eşdeğer petrol
M	: Nem içeriği
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development
PB	: Parçacık boyutu
RES	: Rüzgâr enerjisi santrali
P	: Sıkıştırma basıncı
TEB	: Ton eşdeğer petrol
TMMOB	: Türkiye Makine Mühendisleri Odası Birliği
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu



FINDIK ZURUFU, MISIR VE AYÇİÇEĞİ SAPLARININ KATI BİYOYAKIT OLARAK DEĞERLENDİRİLEBİLME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesi'nde yoğun olarak tarımı yapılan başta fındık olmak üzere, ayçiçeği ve mısır bitkilerinin hasat ve harman işlemlerinden sonra açığa çıkan tarımsal artıkların katı biyoyakıt olarak değerlendirilme olanakları araştırılmıştır. Çalışmada, sıkıştırma basıncı 0-200 bar arasında ayarlanabilen ve kalıp çapı 50 mm olan hidrolik tip bir pres kullanılmıştır. Denemelerde, iki farklı sıkıştırma basıncında (80 ve 160 MPa), iki farklı nem içeriğinde (%8-10 ve %13-15) ve iki farklı parçacık boyutunda (2-5 mm ve 7-10 mm) içi dolu briketler elde edilmiştir. Briketlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak hacim ağırlığı, düşme-dayanıklılık direnci, kırılma direnci, su alma kapasitesi, hava nemi direnci değerleri belirlenmiştir. Briketlerin, yanması sonucu atmosfere salınan baca gazı emisyon değerleri ile yanma verimleri ölçülmüş ve kül içerikleri ve ısı değerleri belirlenmiştir. Briketlerin hacim ağırlıkları yaş bazda 936 - 1216 kg.m⁻³ arasında değişmiştir. Briketlerin hacim ağırlıkları üzerinde sıkıştırma basıncı ve nem içeriği değerleri önemli bulunmuştur (P<0.01). En düşük düşme dayanıklılık direnci ve kırılma direnci 80 MPa sıkıştırma basıncı, %8-10 nem içeriği ve 7-10 mm parçacık boyutunda sırasıyla %44.70 ve %76.20 olarak fındık zurufundan elde edilen briketlerde gerçekleşmiştir. Ayçiçeği ve mısır sapı briketlerinin belirlenen parametreler altında hem kırılma direnci hem de düşme-dayanıklılık direnci oldukça yüksek çıkmıştır. 2. dakika su alma kapasitesinin fındık zurufu ve mısır sapı briketleri üzerinde etkisinin önemli olduğu (P<0.01) tespit edilmiştir. Su alma kapasitesinin en düşük değeri 160 MPa sıkıştırma basıncı altında %8-10 nem içeriğinde ve 7-10 mm parçacık boyutunda ayçiçeği bitkisi briketlerinde %9.39 olarak tespit edilmiştir. Fındık zurufundan üretilen briketlerde en iyi hava nemi direnci (%-0.76) 160 MPa sıkıştırma basıncında %13-15 nem içeriğinde ve 2-5 mm parçacık boyutu değerlerinde belirlenmiştir. Ayçiçeği ve mısır sapından üretilen briketlerde ise en iyi değerler sırasıyla %0.15 ve %-0.05 olarak gerçekleşmiştir. En yüksek üst ısı değeri 18.49 MJ.kg⁻¹ ile %8-10 nem içeriğinde fındık zurufu briketlerinde elde edilmiş olup, en düşük üst ısı değeri ise %13-15 nem içeriği değerinde ayçiçeği sapı tarımsal atığı briketlerinde 15.32 MJ.kg⁻¹ değeri ile elde edilmiştir. Tarımsal artıkların kül içeriği değerleri incelendiğinde nem oranına bağlı olarak en yüksek kül içeriği değeri %19.01 değeri ile %13-15 nem değerinde ayçiçeği sapından elde edilen briketlerin yanması sonu açığa çıkmış olup, en düşük kül içeriği değeri %8-10 nem içeriği değerlerinde fındık zurufu briketlerinden elde edilmiştir (%8.47). Makine kapasitesi ve enerji tüketim değerleri dikkate alındığında, en iyi değerler 160 MPa sıkıştırma basıncı altında, %8-10 nem içeriğinde ve 2-5 mm parçacık boyutu aralığında ayçiçeği sapı tarımsal artıklarından üretilen briketlerde gerçekleşmiştir. Briketlerin yakılması sonucunda elde edilen en yüksek baca gazı emisyon değerlerinin ısınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde belirtilen sınır değerler altında kaldığı görülmüştür. Sonuç olarak, denemelerde kullanılan her üç tarımsal artık materyalinin katı biyoyakıt olarak özelliklerinin uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fındık; Ayçiçeği; Mısır; Tarımsal Artık; Briket; Emisyon.



INVESTIGATING THE UTILIZATION POSSIBILITY OF HAZELNUT HUSK, MAIZE AND SUNFLOWER STALKS AS A SOLID BIOFUEL

ABSTRACT

In this study mainly hazelnut husk, stalk of sunflower maize which are agricultural wastes and released intensely from agricultural areas in the Black Sea region were investigated and evaluated as a solid biofuel. A hydraulic type press having 0-200 bar pressure range and 50 mm press die diameter was used for manufacturing the briquettes. The briquettes were pressed under two different compression pressures (80 and 160 MPa), with two different moisture contents (%8-10 and %13-15) and particle sizes (2-5 and 7-10 mm). Some physical properties of briquettes such as bulk density, tumbler index, shatter index, water absorption capacity, moisture and equivalent humidity content were determined. Gas emissions values of briquettes after combustion and the combustion efficiency were measured. Ash contents and calorific values were also determined. All the data obtained from experiments are evaluated statistically. The density values of briquettes in wet basis varied between 936.24-1216 kg.m⁻³. The compression pressure and moisture content values were significant on the density of briquettes ($P<0.01$). The lowest values of tumbler and shatter indexes obtained from hazelnut husk briquettes at 80 MPa compression pressure, %8-10 moisture content and 7-10 mm particle size which were %44.70 and %76.20, respectively. Regarding those parameters briquettes made of sunflower and maize stalks had higher resistances. The effect of water absorption capacity at the end of the second minute were found to be significant for hazelnut husks and maize stalks briquettes ($P<0.01$). The lowest value of the water absorption capacity was determined as %9.39 at sunflower stalks briquettes under 160 MPa compression pressure, %8-10 moisture content and 7-10 mm particle size. The best equivalent humidity content values were determined under 160 MPa compression pressure, %13-15 moisture content and 2-5 mm particle size (% -0.76). These values were %0.15 and %-0.05 for sunflower and maize stalks briquettes. The highest calorific value and the lowest ash content value is derived from hazelnut husk briquettes (%8-10 moisture content, 18.49 MJ.kg⁻¹, %8.47). The lowest calorific value and the highest ash content is derived from sunflower stalk briquettes (%13-15 moisture content, 15.32 MJ.kg⁻¹, %19.01). When the machine capacity and energy consumption values are considered, the best values are obtained at 160 MPa compression pressure, %8-10 moisture content and 2-5 mm particle size produced from agricultural waste sunflower stalk briquettes. The flue gas emissions of all the briquettes after combustion were found to be below the limit values given in the IKHKKY regulations. In conclusion concerning the physical and chemical properties, all the briquettes made from three different agricultural residues were found to be suitable for a solid biofuel.

Key Words: Hazelnut; Sunflower; Maize; Agricultural Residue; Briquette; Emission.



1. GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacının karşılanmasında genellikle fosil enerji kaynaklarından yararlanılmaktadır. Ancak, nüfus artışıyla birlikte, insanoğlunun dünyaya olan bakış açısı nedeni ile enerjiye olan gereksinimi her geçen gün artırırken, fosil enerji kaynaklarının rezervleri de hızla azalmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalması ve buna bağlı olarak artan birim fiyatları sebebiyle, insanoğlu alternatif enerji kaynakları arayışı içerisine girmiştir. Küreselleşme süreci de hesaba katıldığında, hayatın her alanında az ama verimli enerji tüketmek, dünyanın tüm ülkeleri için vazgeçilmez değer olarak karşımıza çıkmaktadır. İş yapabilme kapasitesi olarak tarif edilebilen enerjinin etkin kullanılması da bu bağlamda tüm dünyada çok önemli bir yere sahiptir. Sadece enerjinin temin edilmesi değil, enerjinin etkin kullanılması da çok önemlidir. Gelişmiş ülkelerde, enerji üretimi için mümkün olan en az enerji ile en fazla verim elde edebilmek için çalışmalar yapılmaktadır.

Türkiye, ürettiğinden çok tüketen bir ülke konumunda olduğundan, enerjide dışa bağımlı durumdadır. Ülkemiz enerji kaynakları potansiyeli bakımından enerji gereksinimini tek başına karşılayamamaktadır. Bu yüzden yatırımların yapılmasında enerji sıkıntısı yaşayan Türkiye, mevcut kaynaklarını değerlendirme yoluna giden bir strateji geliştirerek üretim ve tüketim dengesi sağlamalıdır. Bu nedenle, enerji sektöründe temel amaç, gelişen ekonominin ve artan nüfusun enerjiyi kesintisiz ve en ekonomik maliyetle karşılayabilmesidir. Ulusal çıkarlarımız için, petrol türevli yakıtların kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışlarının hızlandırılması gerekmektedir (Ültanır, 1996). Enerji sistemlerinin çeşitlendirilmesiyle, ekonomik kalkınma ve çevre koruma konularındaki ihtiyaçlar giderilebilecektir (URL 2, 2014).

Alternatif enerji kaynaklarından günümüzde en popüler olanı tükenmez ve çevre dostu olmaları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarının açısından oldukça büyük bir potansiyele sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de biyokütle enerjisidir ve bu kaynak içerisinde tarımsal

artıklar önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle geniş tarımsal üretim alanlarına sahip olmamız bu enerji kaynağının önemini daha da artırmaktadır.

1.1 Dünyada Enerji Üretim ve Tüketim Durumu

Dünyada kullanılan enerjinin çoğu fosil türevi enerji kaynakları, diğer bir deyişle birincil enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Dünyada birincil enerji kaynakları kullanımı 2012 yılı verilerine göre 8979 MTEP olarak gerçekleşmiştir (IEA, 2014).

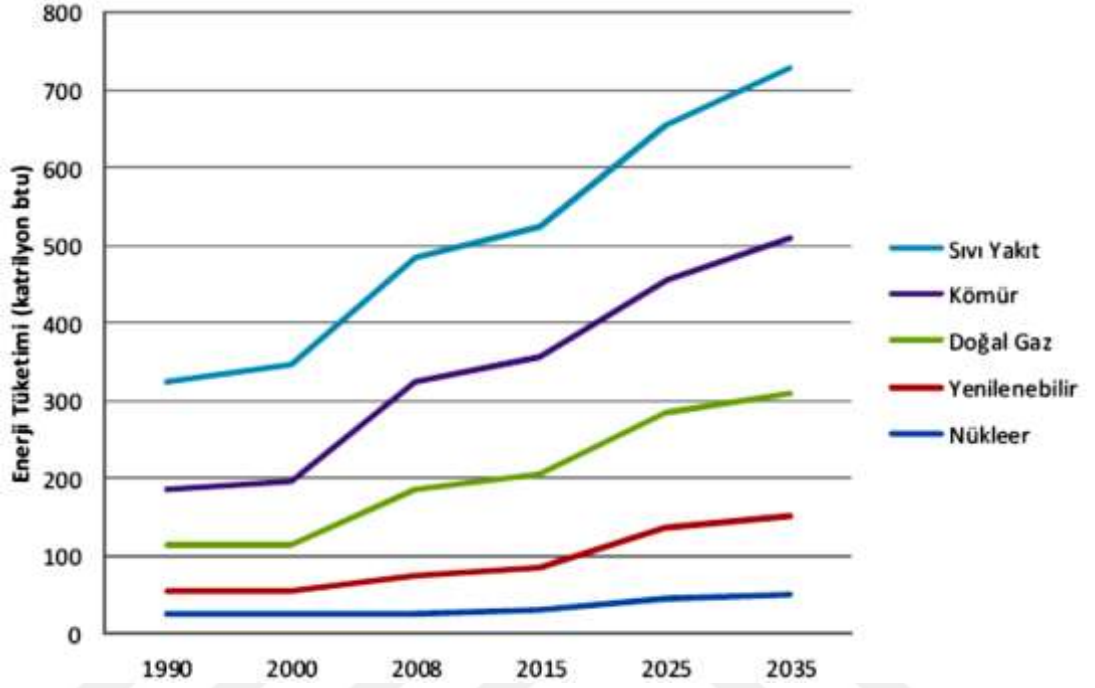
Çin ve Amerika, birincil enerji tüketimi dikkate alındığında ilk iki sırada yer almaktadır. Dünya birincil enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını bu iki ülke tüketirken Türkiye 21. sırada yer almıştır. Bazı ülkelerin birincil enerji tüketimleri Çizelge 1.1'de verilmiştir (URL 3, 2015).

Çizelge 1.1. Ülkelerin birincil enerji tüketim değerleri (MTEP) (ETKB, 2015)

Ülke	2011	2012	Dünya Toplamındaki Payı (%)	Sıra
Çin	2 540.8	2 735.2	21.9	1
ABD	2 265.2	2 208.8	17.7	2
Rusya	696.5	694.2	5.6	3
Hindistan	534.8	563.5	4.5	4
Japonya	481.1	478.2	3.8	5
Kanada	328.6	328.8	2.6	6
Almanya	307.5	311.7	2.5	7
Brezilya	269.7	274.7	2.2	8
Güney Kore	267.8	271.1	2.2	9
Fransa	244.7	245.4	2.0	10
İran	227.0	234.2	1.9	11
Suudi Arabistan	207.5	222.2	1.8	12
Büyük Britanya	200.5	203.6	1.6	13
Meksika	180.5	187.7	1.5	14
İtalya	169.6	162.5	1.3	15
Endonezya	158.6	159.4	1.3	16
İspanya	145.6	144.8	1.2	17
Avustralya	126.5	125.7	1.0	18
Ukrayna	125.6	125.3	1.0	19
Güney Afrika	122.2	123.8	1.0	20
Türkiye	114.5	120.1	1.0	21
Tayland	111.1	117.6	0.9	22
Tayvan	109.8	109.4	0.9	23
Polonya	99.8	97.6	0.8	24
BAE	88.1	89.3	0.7	25
Toplam	12 225.0	12 476.6	100.0	

2011 yılında, Amerikan Enerji Bilgi İdaresi tarafından yapılan bir çalışmaya göre, 2008 ve 2038 yılları arasında dünyadaki enerji tüketiminin %35 artacağı, dünyanın toplam enerji kullanımının ise 2008 yılında 127.26 MTEP iken 2020'de 155.98 MTEP, 2035 yılında ise 194.04 MTEP'e ulaşması beklenmektedir. Enerji

tüketiminde bu büyük artışın çoğu OECD ülkeleri dışındaki ülkelerde gerçekleşmektedir. 1990 ve 2035 yılları için öngörülen bir çalışmada ise OECD ülkelerinde enerji tüketiminin %18 artması beklenirken bunun dışındaki ülkeler için bu oran %85 olarak öngörülmektedir (Şekil 1.1) (GEKA, 2012).



Şekil 1.1. Dünyada yakıt türlerine göre enerji tüketimi tahmini (GEKA, 2012)

1.2 Türkiye’de Enerji Üretim ve Tüketim Durumu

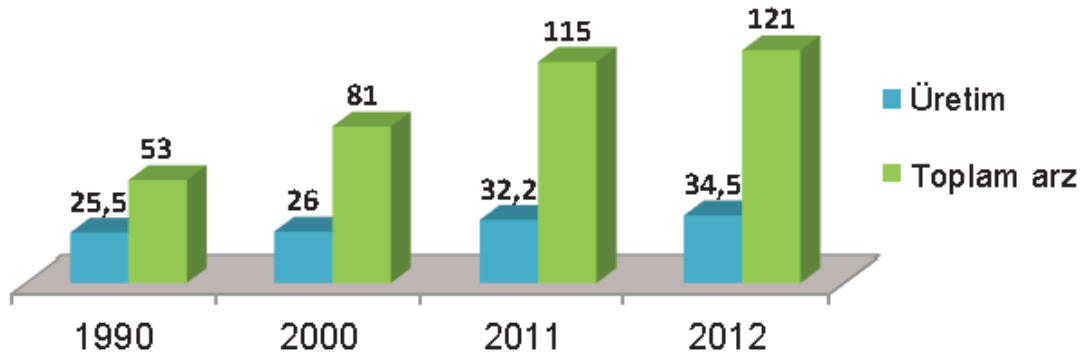
Gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye’nin, artan enerji ihtiyacını karşılamada bilinen hidrokarbon kaynakları açık bir biçimde yetersizdir. Yerli kaynakları araştırma faaliyetlerinin yoğunlaştırılarak yenilenebilir enerji kaynaklarının daha çok kullanılması, bir taraftan enerji verimliliğinin artırılmasına diğer taraftan ülkenin coğrafi konumundan yararlanılmasını sağlayacaktır (Yazar, 2010).

Türkiye’de meydana gelen nüfus artışı 2010 ve 2022 yılları için %1.2 ve %1’lik artışla 74 ve 83 milyona ulaşacağı tahmin edilmektedir (Topal ve Arslan, 2008). Artan nüfus, hızlı kentleşme ve kalkınma, enerji talebinde yüksek ve kesintisiz bir artışa neden olmakta; bu talep ise büyük ölçüde ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Türkiye enerji ihtiyacının %78’ini ithalat ile karşılamaktadır (Yazar, 2010).

Dünya enerji kaynağı rezervlerinin yaklaşık %94’ünü doğal gaz, petrol, kömür ve uranyum gibi yenilenemeyen enerji kaynakları oluşturmaktadır. Mevcut petrol ve doğal gaz rezervlerinin 30-50 yıl sonra, kömür rezervlerinin ise 100-110 yıl sonra

tükeneceği tahmin edilmektedir. Kömür, petrol ve doğal gazla olan bağımlılık, giderek önem kazanan biyokütlenin kullanımı ile büyük ölçüde azaltılabilecektir (Saraçoğlu, 2008; Orhan, 2013). Dünya enerji kaynakları potansiyeli içerisinde Türkiye'nin payı oldukça düşüktür (Kaya, 2006). Türkiye'de toplam kömür rezervi dünya kömür rezervinin binde beşinden daha azdır. Petrol rezervimiz ise daha az ve sınırlı olduğundan ülkemizin sadece %10 enerji ihtiyacı karşılanabilmektedir. Bu yüzden, yeni ekonomik rezervler bulunmazsa bu enerji kaynakları da kısa bir süre sonunda tükenecektir. Doğal gazda da bu durum farklı olmayıp, enerji gereksinimizin ancak %5'ini karşılayabilmektedir (Tuncer ve diğ., 2003). yenilenebilir enerji potansiyeli oldukça yüksek olmasına rağmen bu enerji kaynaklarından (hidrolik, jeotermal, rüzgar, güneş enerjisi) yeterince faydalanılmamaktadır (Maç, 2006).

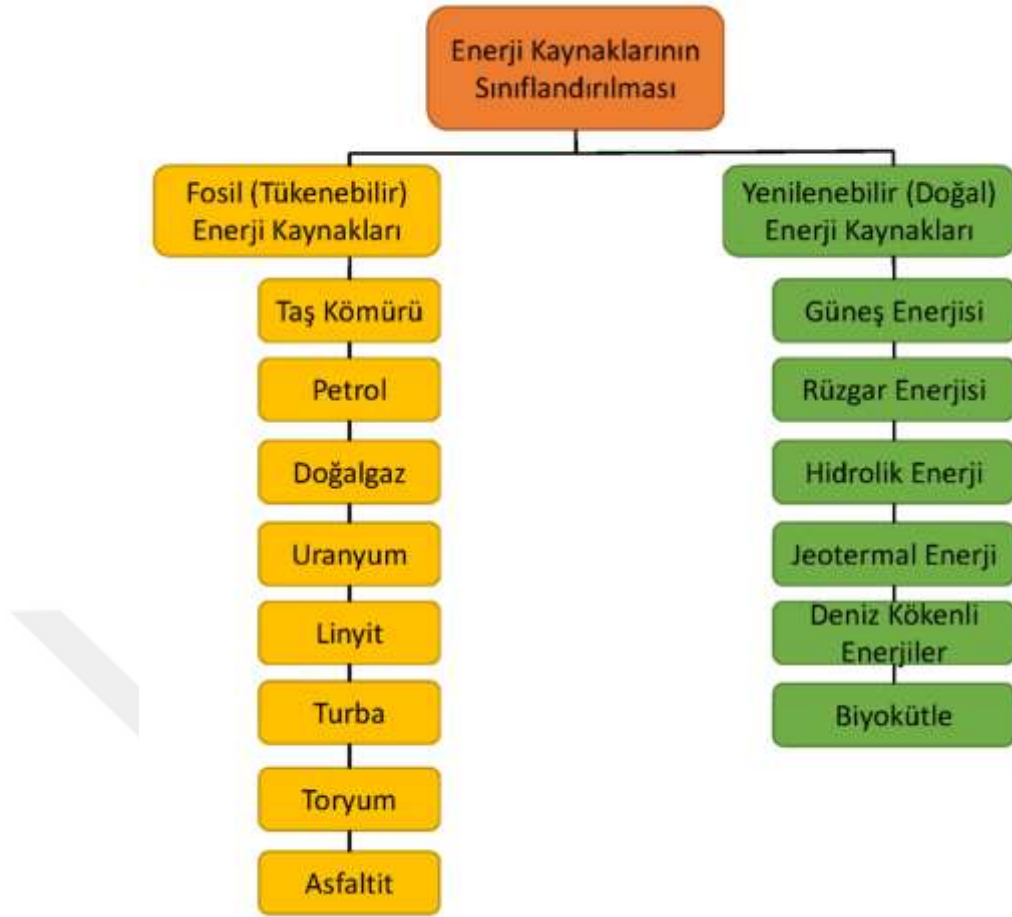
Türkiye'de birincil enerji üretimi 1990-2012 yılları arasında toplam %34.5 oranında artmış ve bu değer 25.48 MTEP'ten 34.47 MTEP düzeyine yükselmiştir. Toplam birincil enerji arzı bu periyotta %121 artmıştır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Türkiye toplam birincil enerji üretimi ve arzı (URL 5, 2012)

1.3 Enerji Kaynakları

Bir maddenin veya maddeler sisteminin iş yapabilme yeteneği biçiminde tanımlanan enerji, çeşitli kaynaklardan yararlanılarak üretilir. Dünya üzerindeki enerji kaynakları, oluşumlarına bağlı olarak fosil ve yenilenebilir kaynaklar olmak üzere ikiye ayrılır (Öztürk, 2013) (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması

1.3.1 Fosil enerji kaynakları

Fosil yakıtlar; kömür, petrol ve doğalgaz gibi yakıtlardan oluşmaktadır. Dünyada kullanılan enerjinin çoğu fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Bu enerji biçimleri, bitkilerin ve hayvanların milyonlarca yıl boyunca yer altında çürümesi ile oluşmuştur. Fosil yakıtlar sondaj ile kazılarak yeryüzüne çıkarılabilir. Özellikle nüfus artışı, şehirleşme ve endüstrileşme enerji gereksiniminin artmasına ve bu yakıtların daha fazla tüketilmesine neden olmaktadır. Bu yakıtların tüketilmesi ile birlikte çevreye verilen zarar artmakta ve insan sağlığı da önemli bir şekilde etkilenmektedir. Ayrıca tüketim miktarının artması ile birlikte enerji kaynaklarının fiyatının yükselmesine sebep olmaktadır. Fosil yakıtlar üç gruba ayrılırlar:

- a) Katı yakıtlar: Üç grupta incelenirler.
- Doğal katı yakıtlar: antrasit, taş kömürü, esmer kömür, linyit kömürü, turba
 - Yapay katı yakıtlar
- b) Sıvı yakıtlar: Ham petrol ve kömür katranından elde edilirler.
- Doğal sıvı yakıtlar: Ham petrolün distilasyonu ile elde edilirler.
 - Yapay sıvı yakıtlar: Elde edildiği kaynağa göre üçe ayrılırlar:
 - Taşkömürü, linyit ve odun gibi yakıtların distilasyonu ile üretilen yakıtlar
 - Ağır petrol bölümlerinden kraking ile elde edilen sıvı yakıtlar
 - Sentez uygulanarak elde edilen sıvı yakıtlar
- c) Gaz Yakıtlar

1.3.2 Yenilenebilir enerji kaynakları

Fosil enerji kaynaklarına göre insan ve çevresi açısından daha az zararlı olan yenilenebilir enerji kaynakları; *güneş, rüzgâr, hidrolik, jeotermal, deniz ve biyokütle enerjileri* gibi doğal enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları sürekli yenilenen doğal süreçler sonucunda elde edilir. Genel anlamda yenilenebilir enerji, aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

- Doğada ve yeryüzünde herhangi bir üretim işlemine ihtiyaç duyulmadan temin edilebilen,
- Fosil kaynaklı olmayan,
- Elektrik üretirken çok az miktarda CO₂ emisyonu gerçekleştiren,
- Çevreye verdiği zarar fosil enerji kaynaklarına göre daha düşük olan,
- Sürekli yenilenen ve doğada kullanılmaya hazır olan enerji kaynaklarıdır (Öztürk, 2013).

Yenilenebilir enerji kaynakları; fosil yakıtlardaki dışa bağımlılığı azaltan, enerji kaynaklarında çeşitliliği artıran, azalmakta olan fosil kaynakların yerini alabilecek ve kırsal alanda elektrik üretimine çözüm getirebilecek bir seçenek olup, aynı zamanda fosil yakıtların yerine kullanılması ile birlikte hava kirliliği ve sera gazı sorunlarına çözüm getirecek bir seçenektir. Bu sebeple yenilenebilir enerji alanında dünyadaki teknolojik gelişmelerin analiz edilerek, ülkemiz şartlarında hem teknik açıdan hem de ekonomik açıdan uygulanabilirliğinin belirlenmesi gereklidir. Uygulanabilme

potansiyeline göre bu tip yatırımlara yönelik gereksinim duyulan yasal düzenlemeler bir an önce yapılmalıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının, kaynak çeşidine göre üstünlükleri ve olumsuz yönleri Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Yenilenebilir enerji kaynaklarının üstünlükleri ve olumsuz yönleri (Öztürk, 2013)

Yenilenebilir enerji kaynağı	Üstünlükleri	Olumsuz yönleri
Hidrolik enerji	- 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.	- 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	- 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.	- Yapılarında 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 mineraller de içerir. - Ön araştırma ve hazırlık maliyeti yüksektir. - Sondaj ve makineler için yeterli boş alan gerekir. - Enerji üretimi verimli olmayabilir. - Sistem yerleşim bölgelerine yakın olmalıdır.
Güneş enerjisi	- Doğal malzemeler kullanılır. - Ekonomiktir. - Dışa bağımlı değildir. - Çevre açısından temiz bir enerji kaynağıdır.	- Verimi düşüktür. - Mevsimsel ve günlük kesiklik gösterir. - Başlangıç maliyeti yüksektir. - Tüketiciler için maliyeti yüksektir. - Depolanması gerekebilir. - Gölge olan kısımlarda kapasite düşüktür.

Çizelge 1.2. (devam)

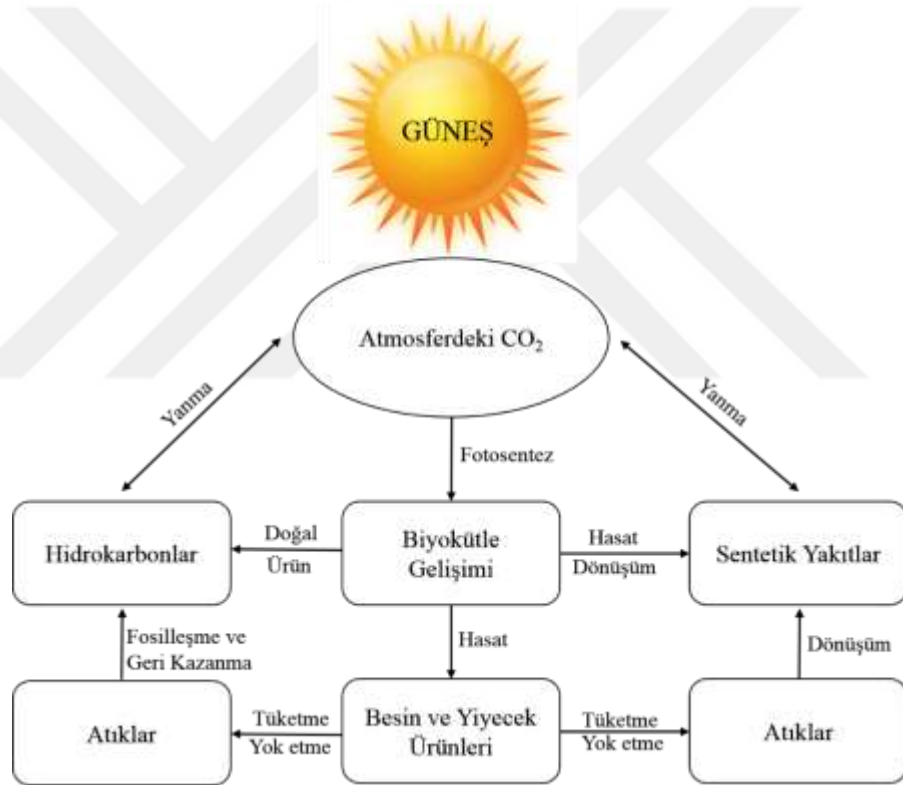
Rüzgâr enerjisi	▪ Kararlı, güvenilir ve sürekli bir kaynaktır. ▪ Dışa bağımlı değildir. ▪ Gelişen teknoloji ile birlikte üretilen enerjinin birim maliyeti düşmektedir. ▪ Kirlilik yaratmayan ve çevreye çok az zarar veren bir kaynaktır. ▪ Yeryüzünde %95 gibi bir alanda rüzgâr enerjisi elde edilebilir. Bu alanlarda aynı zamanda diğer faaliyetler de sürdürülebilir.	▪ Türbinler için geniş alanlar gereklidir. ▪ Türbinler, gürültülü çalışırlar 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	▪ 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.	▪ Çevrim verimleri düşüktür. ▪ Tarım alanları için rekabet oluşturur. ▪ Su içeriği fazladır. ▪ Sadece geniş yerleşim bölgeleri için uygulanabilir.
Deniz akımları enerjisi	▪ Güç kaynağı sonsuz ve boldur. ▪ Fosil yakıtlara bağımlılığı azaltır. ▪ Çevreyi kirlilemez. ▪ 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.	▪ Sistemler yerleşim bölgelerine yakın olmalıdır. ▪ Sistemler kötü hava koşullarında zarar görebilir. ▪ Yeni bir teknoloji olduğundan, yeterli teknik eleman bulunması zordur.

1.4 Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi, temel olarak odun formunda olup insanoğlunun çok eski zamanlardan beri kullandığı bir enerji biçimidir (Balat ve diğ., 2006; Demirbaş, 2009). Dünya üzerinde yer alan biyokütlenin yaklaşık %90'ı ormanlarda gövdeler, dallar, yapraklar ve döküntü maddeler ile yaşayan hayvanlar ve mikroorganizmalardan oluştuğu ve dünya ormanlarının yıllık net biyolojik üretiminin yaklaşık 5×10^{19} ton olduğu tahmin edilmektedir. Alternatif enerji kaynağı olan biyokütlenin enerji eşdeğeri 65376 MTEP olup bu değer 1997 dünya enerji tüketiminin yaklaşık 8 katına eşittir. Günümüzde ise ancak %7'si kullanılmaktadır. Son 30 yılda dünyanın enerji

ihtiyacı 3300 MTEP (1960)'den 387.66 8800 MTEP (1990) çıkmıştır (Acaroğlu, 2013).

Biyokütleden enerji yanında, mobilya, kâğıt, yalıtım maddesi yapımı gibi daha birçok alanda yararlanılmaktadır. Biyokütle doğrudan ısınma ve elektrik amacıyla kullanılabilmekte, katı, gaz ve likit yakıtı çevrilebilmektedir. Endüstri, tarım ve orman artıkları biyokütle olarak kullanılabilmekte, buna ek olarak ağaç ve şeker kamışı gibi enerji üreten bitkiler yalnızca enerjiye dönüştürülerek kullanılmak amacıyla üretilmektedir (Perlack ve diğ., 1995; Hall, 1997; Karayılmazlar ve diğ., 2011). 21. yüzyılda biyokütlenin modern kullanımı ise enerji yoğunluğunun artırılarak yakıtı çevrilmesini içerir (Üçgül ve Akgül, 2010). Biyokütlenin oluşum süreci ve tüketim aşaması Şekil 1.4'de verilmiştir.

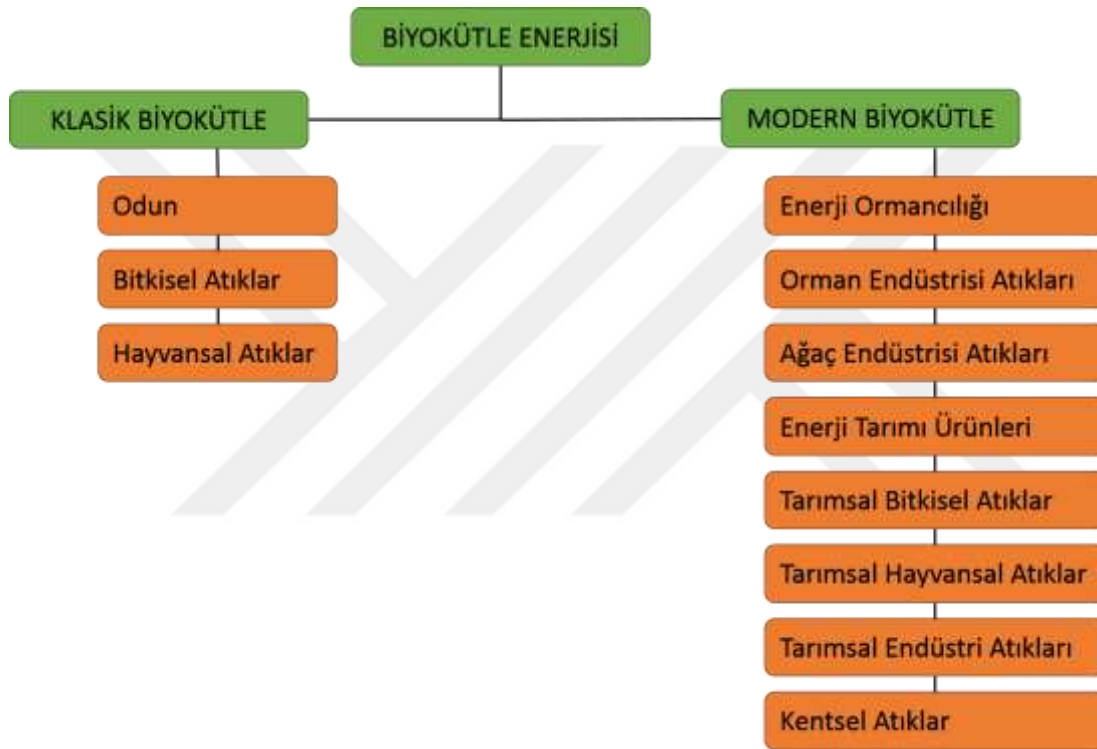


Şekil 1.4. Biyokütlenin oluşum ve tüketim süreci (Öztürk, 2013)

Yenilenebilir çevre dostu olan biyokütle enerjisi son zamanlarda büyük önem kazanmış ve biyokütleden enerji kaynağı olarak yararlanmak amacıyla birçok çalışma yapılmıştır (Sayıgh, 1999; Şensöz ve Can, 2002; Prevsuren ve diğ., 2004; İslam ve diğ., 2005; Zhang ve diğ., 2005; Çulcuoğlu ve diğ., 2005). Çeşitli süreçlerle veya doğrudan yakılarak biyokütleden üretilen yakıtın kalitesi artırılarak, mevcut yakıtlara eşdeğer özelliklerde alternatif biyo-yakıtlar elde edilebilir (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2003).

1.5 Biyokütle Enerji Kaynakları

Biyokütle enerjisi kullanımı klasik ve modern olmak üzere iki grupta incelenir (Şekil 1.5). Klasik biyokütle enerjisi, bitki ve hayvan artıkları ile ormanlardan elde edilen yakacak odundan oluşur. Sanayileşmemiş kırsal toplumlarda kullanımı yaygın olup, çeşitli yakma araçları kullanılarak biyokütle materyalinden direk yanma tekniği ile enerji elde edilebilmektedir. Modern biyokütle kaynakları ise enerji ormancılığı ürünleri ile orman ve ağaç endüstrisi artıkları, hayvansal artıkları, kentsel artıklar, tarımsal endüstri artıkları biçiminde sıralanır.



Şekil 1.5. Biyokütle enerji kaynakları (Öztürk, 2013)

1.6 Dünyada Biyokütle Potansiyeli ve Kullanımı

Dünya üzerinde biyokütle kullanımına bakıldığında IEA üyeleri, 2050 yılına kadar enerji taleplerinin yüzde 25-50'sini biyokütleden karşılamak için önemli projeler başlatmıştır. Bu amaçla, ABD 100 milyon, Kanada 40 milyon ve AB üye devletleri de 20 milyon hektarlık bir alanı enerji ormanlarına ve enerji tarımına tahsis etmiştir. IEA raporlarına göre, ülkelerin enerji taleplerinin asgari %4'ü azami %12'si yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması gerektiğini belirtmiştir (Belen ve Ataş, 2009).

2013 yılında yayımlanan Uluslar Arası Enerji Ajansı verilerine göre, 2010 yılında 280 TWh elektrik enerjisi biyokütleden elde edilmiştir. Ayrıca aynı dönemde,

sanayide kullanılan 8 EJ ısı enerjisi de biyokütleden üretilmiştir. Diğer yandan dünyada yaklaşık 2.7 milyar insan (%39), geleneksel yöntemlerle yemek pişirmek için biyokütle enerjisinden yararlanmaktadır (Taşdemiroğlu, 1991; Kaygusuz ve Sarı, 2003; Enerji Raporu, 2013). Dünyadaki konvansiyonel ve biyokütle enerji miktarları ile biyokütlenin toplam enerji içerisindeki payı Çizelge 1.3’de verilmiştir (Kaygusuz ve Türker, 2002; Demirtaş ve Gün, 2007)

Çizelge 1.3. Dünyadaki biyokütle enerji miktarları (MTEP) (Kaygusuz ve Türker, 2002; Demirtaş ve Gün, 2007)

Bölge	1995				2020			
	Biyokütle	Konvans. enerji	Toplam	Biyokütle pay (%)	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 Amerika	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 ülkeleri	81	3044	3125	3	96	3872	3968	2
Dünya	930	5713	6643	14	1193	9365	10558	11

Avrupa Birliği ülkeleri 1990’lı yıllardan bu yana biyoyakıtlarla ilgili çalışmalar yapmaktadır. AB ülkelerinde 2013 yılı itibarıyla toplam enerji tüketiminde yenilenebilir enerji tüketiminin payı %15 olup, 2020 yılı için %20 ve 2030 yılı için bu hedef %27’dir (Demirtaş ve Gün, 2007).

Bu konuda üye ülkeler ulusal enerji politikalarını düzenlerken, bu hedefleri dikkate almaları konusunda uyarılarda ve desteklerde bulunmaktadır. AB ülkelerinin yenilenebilir enerji kaynakları konusunda hedefleri dikkate alındığında; bu enerji kaynaklarının en çok kullanıldığı ülke %52.1 ile İsveç, %37.1 Letonya, %36.8 Finlandiya ve %32.6 ile Avusturya’dır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının en düşük olduğu ülkeler ise %3.6 Lüksemburg, %3.8 Malta, %4.5 Hollanda ve %5.1 ile İngiltere’dir (İleri, 2015).

Bu veriler dikkate alındığında; İsveç, Letonya, Finlandiya ve Avusturya’nın 2020 ulusal hedeflerine şimdiden ulaştıkları görülmektedir. Bu hedeflerin altında kalan ve hedeflerin tutturulma yüzdeleri en düşük olan ülkeler; İngiltere (hedef: %15, gerçekleşme: %5.1), Hollanda (hedef: %14, gerçekleşme: %4.5), Fransa (hedef: %23, gerçekleşme: %14.2) ve İrlanda (hedef: %16, gerçekleşme: %7.8) olduğu

görülmektedir. Bazı ülkelerde yenilenebilir enerjiye verilen destek güçlüyken diğerlerinde daha düşük olması, İngiltere ve Fransa gibi ülkelerde nükleer gibi alternatiflerin güçlü olması gibi sebeplerden dolayı bu hedefler farklılık göstermektedir (İleri, 2015).

ABD Merkezi Hükümeti Hawaii’de güneş enerjisi kullanımının teşvik ederek 2007 yılından bu yana, Hawaii’de güneş enerjisi kapasitesinde önemli artışlar sağlamıştır. Mevcut kapasite her yıl ikiye katlanarak artış göstermiştir. Bugün elektrik üretimi amacıyla Hawaii’de 50 000 den fazla konutun çatısındaki güneş panelleri kurulmuştur. Pilot bölge olarak seçilen Hawaii’de, ABD Enerji Bakanlığı’nın Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı, çatı tipi güneş panellerinin faydaları ve kısıtları hakkında daha fazla bilgi edinmek çalışmalarını sürdürmektedir. Hindistan’da, 2022 yılına kadar 20 000 MW’dan fazla yenilenebilir enerji üretmek için Amerikalı firmalar tarafından yatırımlar yapılmıştır. Hindistan Hükümeti 2022 yılına kadar bugünkü düzeyinden 33 kat artış öngörerek 100 000 MW güneş enerjisi kurulu gücüne ulaşmayı hedeflemektedir (ETKB, 2015).

1.7 Türkiye’de Biyokütle Potansiyeli ve Kullanımı

Ülkemiz coğrafi konumu nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça iyi bir potansiyele sahiptir. Ülkemizde kömür üretiminden sonra en yüksek üretime sahip enerji, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların yaklaşık üçte ikisini biyokütle oluşturmaktadır. Bu yüzden uygun prosesler geliştirilerek biyokütlenin enerji kaynağı olarak değerlendirilmesinde yapılacak olan çalışmaların önemini daha da artırmaktadır (Angın ve Şensöz, 2006). Ayrıca, ülkemizde gerek tarımsal aktivitede bulunan alanlardan, gerekse tarımsal ürünleri işleyen işletmelerden her yıl büyük miktarlarda ve değişik özelliklerde değerlendirilebilecek artıklar ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, toplam tarımsal üretimin yarısından fazlasının koçan, sap, yaprak, saman, kavuz, kabuk veya endüstriyel artık olarak açığa çıkması bu artıkların önemini vurgulamaktadır. Bu artıkların değerlendirilerek, değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi ve bu şekilde çevreye verdiği zararların en aza indirilmesi, sınırlı olan kaynakların değerlendirilmesine ve doğal kaynaklar üzerindeki baskının azaltılmasına katkıda bulunacaktır (Başkan, 2010).

Türkiye yenilenebilir enerji hedeflerine ve AB müzakere sürecine olan bağlılığını ve kararlılığını göstermek için Aralık 2014 tarihinde kendi Ulusal

Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'nı açıklamıştır. 4 Eylem Planı'nda Türkiye'nin 2023 yılına kadar yenilenebilir enerjinin toplam elektrik enerjisi talebinin en az yüzde 30'unu karşılayacak düzeye yükseltilmesi ve ulaştırma alanında yenilenebilir enerjinin payını AB hedefi olan yüzde 10'a yükseltilmesi teyit edilmiştir. Türkiye yenilenebilir hedefini belirlerken önümüzdeki dönemde sahip olduğu zengin güneş, rüzgâr gibi kaynakları çok daha yüksek oranda kullanacağı öngörülmektedir. 2013 yılı sonu itibarıyla ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik üretimindeki payının %29, kurulu güç içerisindeki payının ise %40 olduğu görülmektedir. Bu üretim içerisinde %29'luk yenilenebilir enerji payının %25'inin hidro kaynaklı olduğu, sadece yüzde 4'lük kısmın rüzgâr, güneş gibi diğer yenilenebilir kaynaklardan geldiği dikkate alınmalıdır (İleri, 2015).

Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları açısından büyük bir potansiyele sahip olmasına karşın, yenilenebilir enerji kaynaklarının genel enerji üretimindeki payı oldukça düşüktür (Çizelge 1.4).

Çizelge 1.4. Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (GWh) (ETKB, 2015)

		2012		2013		2014	
Birincil Enerji Kaynağı		Elektrik Üretimi (GWh)	Toplam Üretim İçindeki Payı (%)	Elektrik Üretimi (GWh)	Toplam Üretim İçindeki Payı (%)	Elektrik Üretimi (GWh)	Toplam Üretim İçindeki Payı (%)
Kömür	Taşkömürü+İthal Kömür+Asfaltit	33 324	13.90	31 458	13.20	37 592	15.01
	Linyit	34 689	14.50	30 018	12.50	36 413	14.54
	Toplam	68 013	28.40	61 476	25.70	74 005	29.56
Sıvı Yakıtlar	Fuel-Oil	981	0.40	3 195	1.30	3 107	1.24
	Motorin	657	0.30	528	0.20	290	0.12
	LPG			91	0.04	89	0.04
	Nafta			76	0.03	72	0.03
	Toplam	1 639	0.70	3 890	1.63	3 559	1.42
Doğalgaz+LNG		104 499	43.60	104 835	43.81	120 468	48.11
Yenilenebilir+Artık		721	0.30	1 055	0.44	1 329	0.53
Termik Toplam		174 872	73.00	171 812	71.54	199 361	79.62
Hidrolik Toplam		57 865	24.20	59 420	24.74	40 402	16.14
Rüzgar Toplamı		5 861	2.40	7 558	3.15	8 367	3.34
Jeotermal Toplamı		899	0.40	1 364	0.57	2 252	0.90
Genel Toplamı		239 497	100	240 154	100	250 381	100

Çizelge 1.4'ü incelediğimizde, 2014 yılı sonu itibarıyla ülkemiz elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı içerisinde toplam elektrik enerjisi üretiminin termik santrallerden ürettiğimiz elektrik enerjisine oranı %79.62'dir. Bu oran içerisinde ilk sırayı %48.11'lik payı ile doğal gaz + LNG kaynaklı santraller ve %29.56 oran ile kömür kaynaklı santraller takip etmektedir. Termik santralleri, %16.14'lük oran ile hidrolik santraller takip etmektedir. 2012 yılında göre rüzgâr santrallerinden üretilen elektriğin toplam üretimdeki payı 2014 yılı sonu itibarıyla %2.40'dan %3.34'e yükselmiştir. Bu grafik içerisinde 2014 yılı itibarıyla artıklardan elde edilen enerji payının toplam üretim içerisinde payının %0.53 olduğu görünmektedir.

Fosil yakıtlar bittiğinde, Türkiye enerji kıtlığı ve önemli enerji fiyat artışlarıyla karşı karşıya kalacaktır. Bundan dolayı, Türkiye'nin sürdürülebilir ekonomik gelişimi için yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojisinin kullanımı ve gelişimi hayati bir önem taşımaktadır.

Türkiye'deki mevcut biyokütle enerji kaynakları değerlendirildiğinde, tarım endüstrisi artıkları ile odun ve odun dışı orman ürünleri artıklarının, hayvan yetiştiriciliği sonucunda ortaya çıkan hayvansal artıkların, özellikle toplu konutların yüksek oranlarda bulunduğu şehirlerdeki evsel ve şehrsel katı artıkların, biyokütle kökenli tüm endüstriyel artıkların gazlaştırma, fermentasyon, anaerobik çürütme gibi uygun tekniklerle alternatif yakıtlara dönüştürülebileceği gerçeği ortaya çıkmaktadır. Bu durum gerçekleştiğinde, kurulacak olan ısı ve soğutma tesisleri için biyokütle enerji kaynakları kullanılarak, yerli kaynaklardan enerji üretiminin artması sağlanacak ve enerji üretimi konusunda dışa bağımlılık azaltılabilecektir (Kaplukan, 2014).

1.8 Türkiye'de Tarımsal Artık Potansiyeli Durumu

Ülkemizde, sanayileşen nüfus dışında kalanlar, geçimlerini genellikle tarım ve hayvancılıkla sağlamaktadırlar. Bitkisel üretimdeki plansızlıklar, ürün fiyatlarındaki dalgalanmalar, üretim maliyetlerinin yüksek olması, kentlere olan göç sebeplerinden dolayı bitkisel üretimde çoğu zaman dengesizlikler ve yetersizlikler görülmektedir. Arazi varlığı daha verimli bir şekilde kullanılırsa, ürün fiyatları ve ürün yetiştirme maliyetleri dengelenirse bitkisel üretim potansiyeli de giderek artacaktır. Türkiye'nin toplam tarımsal alanı 2014 yılı verilerine göre 38 560 000 hektardır. Bunun %40.94'ü

ekili alan, %37.92'si ss bitkileri ve ayır–mera arazisi, % 10.65'i nadas alanı, %10.48'i meyve ve sebze ekili alanıdır (izelge 1.5).

Çizelge 1.5. Türkiye'nin sahip olduğu tarımsal alan (Bin hektar) (TÜİK, 2015)

Tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin alanı							
Yıllar	Toplam tarım alanı	Ekilen alan	Nadas	Sebze bahçeleri alanı	Süs bitkileri alanı	Meyveler, içecek ve baharat bitkileri alanı	ayır ve mera arazisi
2001	40 967	17 917	4 914	909	-	2 610	14 617
2002	41 196	17 935	5 040	930	-	2 674	14 617
2003	40 644	17 408	4 991	911	-	2 717	14 617
2004	41 210	17 962	4 956	895	-	2 780	14 617
2005	41 223	18 005	4 876	894	-	2 831	14 617
2006	40 493	17 440	4 691	850	-	2 895	14 617
2007	39 505	16 945	4 219	815	-	2 909	14 617
2008	39 122	16 460	4 259	836	-	2 950	14 617
2009	38 911	16 217	4 323	811	-	2 943	14 617
2010	39 012	16 333	4 249	802	-	3 011	14 617
2011	38 231	15 692	4 017	810	4	3 091	14 617
2012	38 399	15 463	4 286	827	5	3 201	14 617
2013	38 423	15 613	4 148	808	5	3 232	14 617
2014	38 560	15 789	4 108	804	5	3 238	14 617

Çizelge 1.6'da ülkemizin toplam tarımsal üretiminden sonra açığa çıkan biyokütle potansiyeli verilmiştir.

Çizelge 1.6. Türkiye toplam biyokütle potansiyeli (URL 4, 2015)

Toplam Hayvan Sayısı (Adet)	362.734.882,00
Hayvansal Artık Miktarı (ton/yıl)	156.759.836,61
Hayvansal Artıkların Enerji Değeri (MTEP/yıl)	1323.72
Bitkisel retim Miktarı (ton/yıl)	142.418.566,47
Bitkisel Artık Miktarı (ton/yıl)	142.441.285,37
Bitkisel Artıkların Enerji Eşdeğeri (MTEP/yıl)	15941.32
Kentsel Katı Artık Miktarı (ton/yıl)	29.618.188,14
Kentsel Organik Artıkların Enerji Değerleri (MTEP/yıl)	2186.23
Orman Artıklarının Enerji Değeri (MTEP/yıl)	855.80
Artıkların Toplam Enerji Eşdeğeri (MTEP/yıl)	20307.07
Biyodizel İşleme Lisansı Sahibi Firmalar	24
Biyometanol İşleme Lisansı Sahibi Firmalar	3
Biyokütle Kaynaklı Elektrik retim Santral Sayısı	42

Çizelge 1.6’da görüldüğü üzere ülkemizin toplam tarımsal üretimi 142 418 566 ton olarak gerçekleşmiştir. Bitkisel üretim faaliyetleri sonrasında ortaya çıkan artık/artık miktarı ise toplamda 142 441 285 ton olarak gerçekleşmiştir. Açığa çıkan bitkisel artık miktarının enerji eşdeğeri 15941.32 MTEP/yıl olarak tespit edilmiştir. Çizelge 1.7’de ülkemizde her yıl tarla ve bahçe ürünlerinden açığa çıkan artık miktarları verilmiş ve toplam ısı değeri 303.2 PJ olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ülkemizde yoğun bir şekilde tarımı yapılan bazı ürünlere ait biyokütle potansiyeli bölgesel olarak Çizelge 1.8’de verilmiştir.

Çizelge 1.7. Türkiye tarımsal biyokütle potansiyeli (BEPA, 2015)

	Toplam Kullanılabilir Artık Miktarı (Ton)	Toplam Isıl Değer (PJ)
Tarla Ürünleri	11 766 995	228.4
Bahçe Ürünleri	3 569 040	74.8
Toplam	15 336 035	303.2

Çizelge 1.8. Türkiye’de bazı tarımsal ürünlere ait biyokütle potansiyeli (KTAE, 2015)

	Ürünler (Ton)								
Bölgeler	Mısır	Pamuk	Ş.Pancar	Fındık	Buğday	Ayçiçeği	Çeltik	Zeytin	Toplam Artık Miktarı
Karadeniz	478 524	0	65 756	246 932	1 627 379	187 999	21 240	1 338	5 675 438
Marmara	618 563	21 302	28 084	50 443	3 019 961	3 996 212	96 156	165 836	7 996 557
Ege	701 419	791 523	18 380	5	1 750 555	321 126	160	513 720	7 976 521
Akdeniz	2 185 616	699 009	28 756	168	2 693 664	462 556	1 134	162 008	9 814 177
İç Anadolu	135 259	70	361 254	0	6 670 795	813 375	18 500	2 437	20 021 689
Güneydoğu	428 450	1 671 485	1 927	1	2 928 852	29 956	1 784	34 397	6 659 546
Doğu Anadolu	25 368	991	50 545	177	1 468 188	41 758	226	0	3 416 531

1.9 Biyokütle Enerjisinin Çevreye Olan Etkileri

Biyokütle enerjisi, çevresel açıdan değerlendirildiğinde, kullanımı sırasında önemli miktarda karbondioksit açığa çıkarmaktadır. Ancak, söz konusu biyokütlelerin ürettiği karbondioksit, yine bitkiler tarafından emilmekte ve fotosentez işleminde kullanılmaktadır. Yakıt olarak kullanılan biyokütle, ısıtma amacı ile fosil yakıtlar yerine kullanılırsa %75-90 oranında, benzinli ve dizel araçlarda kullanılması durumunda %50-85 arasında sera gazları emisyonunda azalma sağlayacaktır (Yılmaz, 2009). Özellikle, çağdaş enerji tarımı ve enerji ormancılığı ile artıkların (kâğıt

endüstrisi artıkları, endüstriyel odun artıkları, belediye artıkları, hayvan artıkları, tarımsal artıklar vd.) değerlendirilmesine yönelik çalışmalar, toprak ve su kirliliğinin önlenmesi ile yerel ve bölgesel iklim denetimine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, biyokütle uygulamaları, toprak kayıplarının (erozyon) azaltılması ve orman yangınlarının kontrol altında tutulması konularında da etkili sonuçlar vermektedir.

1.10 Briketleme ve Biyokütle Briketleme Teknolojileri

Tarımsal artıklar yüksek nem içeriğine ve düşük yoğunluğa sahip materyaller oldukları için evlerde ve endüstriyel alanlarda faaliyet sürdüren işletmelerde doğrudan yakılması çok verimli olmamaktadır. Ayrıca, bu artıkların doğrudan kullanılması taşıma, depolama ve işleme problemlerini meydana getirmektedir. Elde edilen artıkların bu şekilde kullanılmasının en önemli dezavantajlarından birisi de çevre kirliliğine neden olmasıdır. Bu yüzden, tarımsal ve diğer biyokütle artıklarının etkin bir biçimde kullanılması gerekmektedir. Meydana gelen bu artıkların belirtilen olumsuzlukların ortadan kaldırma yollarından birisi de onların briketlenmesidir. Briketlenmemiş biyokütle yakıtı bazı olumsuzluklara sahiptir. Bunlar;

- Nispeten birim hacim başına ısı değeri düşüktür.
- Kalite ve ısı değeri kararsızdır.
- Yakma hızını kontrol etmek zordur.
- Yanma hızlıdır. Bu nedenle yakıtın sık sık yüklenmesi gerekir.
- Sürekli yakıt beslemenin mekanizasyonu zordur.
- Depolama için büyük hacimler ve alanlar gereklidir.
- Taşıma ve dağıtımıyla ilgili ekonomik sorunlarla karşılaşılır.

Briketleme işlemi ile yeterli ölçüde parçalanmış materyal 25 mm çap'tan daha büyük şekillerde sıkıştırılma işlemidir. Biyokütlenin briketlenmesi ile yoğunluğu 100-200 kg.m⁻³'den 1200 kg.m⁻³'e kadar çıkarılmaktadır (Grover ve Mishra 1996). Briketleme işlemi ile (Sawai ve diğ., 2014);

- Biyokütle karakteristikleri iyileştirilmekte,
- Hacimsel ısı değeri artmakta,
- Taşıma maliyetleri azalmakta,
- Depolama masrafları azalmakta,
- Sobalarda kolaylıkla yakılabilmekte,
- Yanma karakteristikleri iyileşmekte,

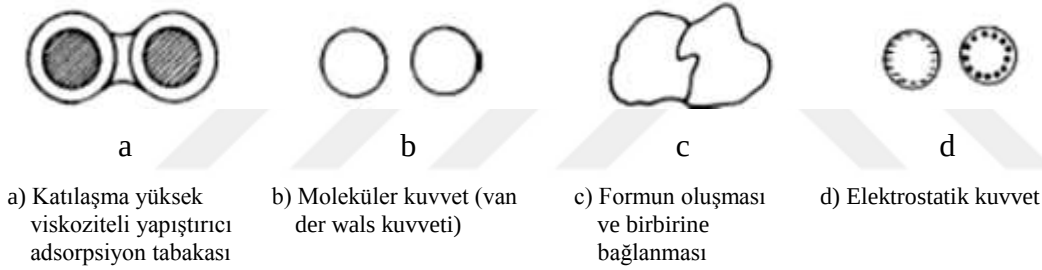
- Atmosfere salınan partikül emisyonları azalmakta,
- Aynı boyut ve şekilde iyi bir yakıt elde edilmektedir.

1.10.1 Briketlemenin ana temelleri

Biyokütlenin yakıtla dönüştürülmesindeki teknoloji biyokütlenin sıkıştırılması esasına dayanmaktadır. Briketleme teknolojisi sayesinde briketlenmiş biyokütle yakıtı taşıma, depolama ve kullanımda büyük avantajlar sağlamaktadır. Briketleme teknolojisinde sıkıştırma temelini şu şekilde sınıflandırılmaktadır.

- Yüksek basınç altında sıkıştırma
- Normal basınç altında ısı yardımıyla sıkıştırma
- Düşük basınç altında yapıştırıcı ilavesi ile sıkıştırma.

Briketlemede özellikle Van der Wals kuvvetleri oldukça etkilidir. Şekil 1.6'da briketlemede yapışma (katılaşma) aşamaları görülmektedir (Grover ve Mishra 1996).



Şekil 1.6. Briketlemede işleminde yapışma aşamaları (Grover ve Mishra 1996)

Briketlemede katıların şu özellikleri önemlidir;

- Akma ve bağlama (bağlayıcı ve yapıştırıcı sıkıştırmanın karakteristiğini vermektedir),
- Partikül boyutu (ince, küçük partikül boyutu yüksek ve kaliteli briketlemeye yardımcı olmaktadır),
- Yüzey kuvveti (sıkıştırma kuvveti için önemlidir),
- Sertleşme (katılaşma).

1.10.2 Briketleme işleminde etkili faktörler

Briketleme işlemi birçok faktörü bir arada bulunduran karmaşık bir işlem sürecidir. Bu nedenle, briketleme işlemine başlamadan önce, kullanılacak briketleme teknolojisi ve materyale göre en uygun nem içeriği, parçacık boyutu ve presleme basıncı seçilmelidir.

Nem İçeriğinin Etkisi: Briketlenecek materyalin nem içeriğİ, materyal cinsine ve seçilen presleme basıncına göre belirlenen, optimum bir değerde olmalıdır. Nem içeriğinin yüksek olması durumunda, hem materyalin kurutulması için ayrıca enerjiye ihtiyaç duyulmakta, materyalin sıkıştırılması zorlaşmakta hem de materyalin öğütme işlemi sırasında problemlere neden olmaktadır. Briketlerin nem içeriklerinin çok düşük olması halinde ise briketlerin kolayca dağılabilmelerine neden olmaktadır. Ayrıca, kullanılan briketleme makinesinin de özellikleri briketleme karakteristiklerini etkilemektedir. Buna bağlı olarak, biyokütlenin briketlenmesinde önerilen en uygun nem içeriğİ değerleri %8-15 arasında değişmektedir (Pels ve diğ., 2005; Olivia 2010).

Parçacık Boyutunun Etkisi: Materyallerin parçacık boyutu ve şekli çok önemli olup, parçacık boyutu küçüldükçe, materyallerin serbest yüzey enerjisi arttığından, üretilen briketler daha dayanıklı olmaktadır. Parçacık boyutunun büyük olması durumunda ise briketlemede, iri taneciklerin presleme sırasında kırılması, briket içinde zayıf noktalar oluşturmasına sebep olmaktadır.

Sıkıştırma Basıncı ve Sresinin Etkisi: Basınc, materyal taneleri arasındaki uzaklığı azaltarak birbirlerine yaklaşmalarını sağlamakta ve tanecik yüzeylerinin temas oranını artırmaktadır. Presleme basıncı optimum değerde seçilmelidir. Briketleme basıncı yükseldikçe, elastik deformasyon sonucu, briketlerin sağlamlığı artmaktadır; ancak basınç belli bir değerin üzerine çıktığında ise plastik deformasyonun geri dönüşlü olması nedeniyle, briketlerin birden genleşmesi, çatlaklar oluşturarak sağlamlığı azaltmaktadır. Briketlemede, presleme basıncı kadar, preste kalma süresi de briketin sağlamlığına etki etmektedir. Briketlerin, tekrar genleşmeyecek şekilde, sağlam bir hale gelebilmesi için, preslemede belirli bir sreye ihtiyaç vardır. Bu durum kullanılan pres teknolojisi ve materyale göre değişiklik göstermektedir.

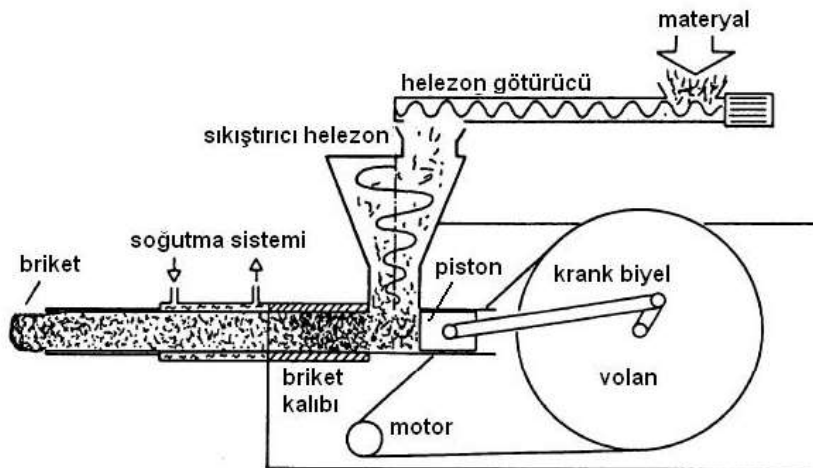
Biyokütle Sıcaklığının Etkisi: Biyokütlenin sıkıştırılma sıcaklığının değiştirilmesi ile briket yoğunluğu, briketin parçalanma dayanımı ve nem dengesi de değiştirilebilmektedir. İçsel ve dışsal sürtünme etkileriyle de ortaya çıkabilen ısı, materyalin içerisinde bulunan nemin kızgın buhara dönüşmesine ve hemiselülozu hidrolize ederek ligninin serbest kalmasına neden olmaktadır. Böylece ısı ve basınç altında bu maddeler yapıştırıcı ve bağlayıcı etki göstermektedirler. Ancak, sıcaklık hiçbir zaman biyokütlenin bozulma sınırı olan 300 C’yi aşmamalıdır (Grover ve Mishra 1996).

1.11 Briketleme Teknolojileri

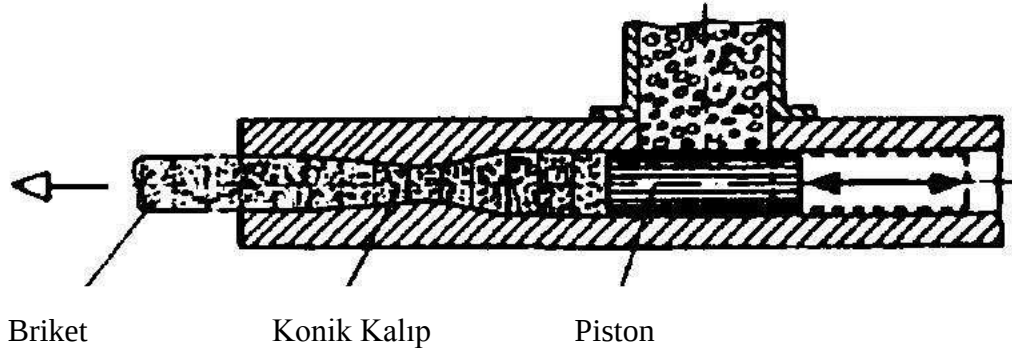
Briketleme ile ilgili çalışmalar 19 yy. yarısına kadar uzanmaktadır. İlk briketleme makinesi 1865 yılında organik materyallerin briketlenmesi amacıyla yapılmıştır. Organik formdaki materyallerin briketlenmesi ilk olarak I. Dünya Savaşı ve 1930'lu yıllardaki ekonomik bunalım sırasında olmuştur. Talaşın ve diğer artıkların briketlenmesi Avrupa ve Amerika'da I.Dünya Savaşı sonrası önemli bir yer edinmiştir. 1970 ve 80'li yıllarda petrol fiyatlarının artışı sonucu baş gösteren enerji krizinin de etkisiyle özellikle İskandinavya ülkeleri, Amerika ve Kanada'da organik artıklardan elde edilen briket önemli bir yakıt durumuna gelmiştir. Japonya'da talaştan elde edilen briket teknolojisi önce Tayvan daha sonra Tayland'a geçmiş ve Asya ülkelerine yayılmıştır (Acaroğlu, 2013). Biyokütlenin briketlenmesinde piston presli, vidalı (helezon) ve hidrolik tip teknolojiler kullanılmaktadır (Granada ve diğ., 2002).

1.11.1 Piston presli briketleme makinesi

Bu tipteki modern briketleme makineleri, ilk olarak 1930'lu yıllarda İsviçre'de yapılmış, daha sonra Almanya'da geliştirilmiştir. Pistonlu briketleme makinesinde genel olarak üretim kapasitesi ortalama $0.25 - 2 \text{ t.h}^{-1}$, briket çapı 8 – 10 cm ve briket uzunluğu 10 – 30 cm arasında değişmektedir. Bu makinelerin çalışması sırasında pistonun strok hareketi dakikada 270'e kadar çıkabilmektedir. Bu briket makineleri, krank biyel mekanizmalı ve hidrolik tarzda olabilmektedir. Günümüzde modern tipleri mevcuttur ve geniş uygulama alanları bulabilmektedir (Şekil 1.7, Şekil 1.8).



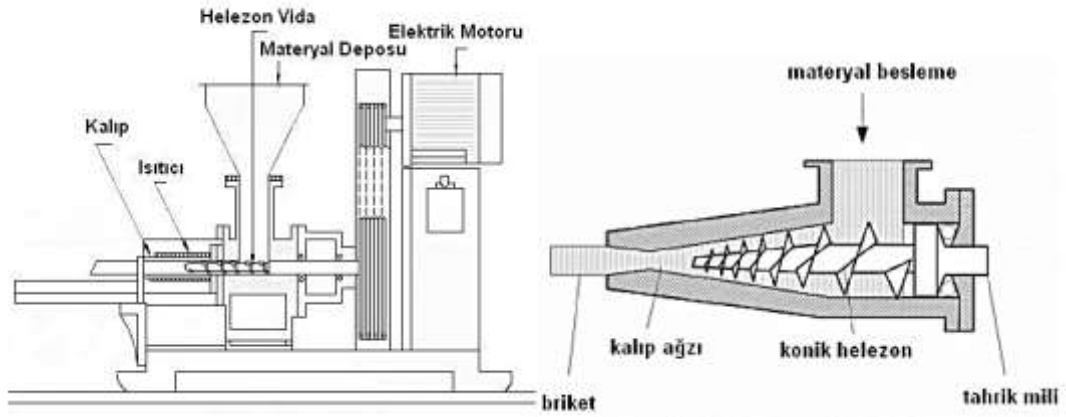
Şekil 1.7. Piston presli briketleme makinesi (Werther ve diğ., 2000; Karaca, 2009)



Şekil 1.8. Konik silindirli pistonlu briketleme makinesi (Bilgin, 2008)

1.11.2 Vidalı (helezon) tip briketleme makinesi

I. Dünya Savaşı yıllarında Japonya’da ortası boş briketlerin üretimini yapacak vidalı briketleme makinesi tasarlanmıştır (Şekil 1.9). Vidalı briketleme makinelerinde, vidanın sürekli hareketi nedeniyle, baskı kuvveti doğmakta ve materyali iteleyerek, materyalin sıkıştırma işlemi yapılmaktadır. Bu tip makinelerde sürtünmelere ve kalıp ısıtmasına bağlı olarak biyokütledeki sıcaklık yükselmesi nedeniyle, mevcut lignin akma noktasına gelmektedir. Böylece, yüksek sıcaklık nedeniyle lignin yapıştırıcı görevi yapmakta ve materyal mevcut kalıbın şeklini alarak briketlenmektedir.



Şekil 1.9. Vidalı (helezonlu) briketleme makinesi (Dutta, 2007; Karaca, 2009)

Bu tip briketleme makinelerinde, silindir sıcaklığı 200 – 300°C’ ye kadar çıkabilmekte ve en uygun briketleme için nem içeriği %10’un altında olmaktadır. Vidalı briketleme makinelerinde briketleme kapasitesi 10 – 30 kg.cm⁻¹ vida adımı olmaktadır (Grover ve Mishra, 1996).

Yüksek briketleme (sıkıştırma, yapıştırma teknolojisi) helezonlu ve piston presle olmaktadır. Biyokütle preste yüksek basınç etkisi altında kalmakta ve sıkışmaktadır.

Helezonlu (vidalı) preste materyal helezon aracılığıyla sürekli beslenmekte ve bir şerit şeklinde çıkmaktadır. Pistonlu preste ise materyale sürekli bir darbe etkisi olmakta ve materyal sıkıştırma haznesi içerisinde ötelenme hareketi ile yol almaktadır. Helezonlu preslerin briket kalitesi genellikle pistonlu preslerden daha iyi olmaktadır (Çizelge 1.9).

Çizelge 1.9. Vidalı (helezonlu) ve pistonlu briketleme makinelerinin karşılaştırılması (Grover ve Mishra 1996; Kaliyan ve diğ., 2009; Tumuluru ve diğ., 2011; Acaroğlu, 2013)

Özellikler	Piston presli briketleme makinesi	Vidalı (helezon) tip briketleme makinesi
Ham materyalin optimum nem içeriği	%10 – 15	%8 – 9
Makineden çıkışı	Strok ile	Sürekli
Güç tüketimi	37.4-77 kWh.t ⁻¹	36.8-150 kWh.t ⁻¹
Materyalin makine ile yüzey teması	Düşük ve pistonla	Yüksek, helezonla
Briket yoğunluğu	1.0 – 1.2 g.cm ⁻³	1.0 – 1.4 g.cm ⁻³
Bakım	Yüksek	Düşük, az
Briketin yanma performansı	İyi değil	Çok iyi
Gazlaştırmaya uygunluğu	Uygun değil	Uygun
Briketin homojenliği	Homojen değil	Homojen
Parçacık boyutu	Daha büyük	Daha küçük
Karbonizasyon	Uygun değil	İyi

Pistonlu pres makinelerinde üretilen briketin dış çapı yaklaşık 60 mm’dir. Bu tip makineler 700 kg.h⁻¹ iş kapasitesine sahip olup, güç gereksinimleri 25 kW’dır. Piston 270 min⁻¹ ile çalışmakta olup, bu tip makinelerin avantajları ve dezavantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Biyokütle pistonla çok temas halinde olduğundan, briketin aşınması da fazla olmaktadır,
- Masraf etkinliği yönünden iyidir,
- Farklı biyokütle kaynakları için uygundur,
- En iyi briketleme kalitesi ürünün %12 nem içeriğinde ve bu nem değerinin altında elde edilmektedir,
- Briketlerin dış yüzeyinde karbonizasyon yoktur,
- Kolay kırılabilir (gevrek) bir yapıdadır.

Vidalı (helezonlu) briketleme makinelerinde ürün sürekli ve bir şerit halinde çıkmaktadır. Bu tip makinelerin avantajları ve dezavantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Çıkış sürekli olduğu için briketin boyu düzenli değildir.
- Dış yüzeyindeki karbonizasyon oluşumundan dolayı, briketin yakılması ve tutuşması daha kolaydır. Bu özellik aynı zamanda briketi nemden korumaktadır.
- Piston presli briketleme makineleriyle karşılaştırıldığında güç gereksinimleri fazladır.
- Piston presli briketleme makinelerine göre daha rahat çalışmaktadırlar.
- Makinenin tozdan ve ham materyalden kirlenmesi söz konusu değildir.

1.11.3 Hidrolik pistonlu briketleme makineleri

Hidrolik tip briketleme makinelerinde, elektrik motorundan alınan hareket hidrolik sistem aracılığı ile yüksek basınçta pistonla iletildiğinden, mekanik pistonlu makinelerden farklıdır. Makine kompakt yapıda olup hafiftir (Şekil 1.10). Üretilen briketlerin yoğunluğu 1000 kg.m^{-3} 'den daha az olabilmekte ve makine kapasitesi 45-135 kg.h^{-1} arasında değişmektedir. Hidrolik pistonlu briketleme makineleri kullanımlarının kolay olması, bakım masraflarının ve enerji tüketimlerinin düşük olması nedeniyle avantajlı olmasına rağmen, ürün yoğunluğu ile üretim kapasitesinin düşük ve üretilen briketlerin kırılgan yapıda olmaları nedeniyle dezavantajlıdır. Bu tip makineler mekanik pistonlar için kabul edilen %15 nem içeriğinden daha yüksek nem içeriklerinde çalışmaya izin vermektedirler (Grover ve Mishra, 1996; Tumuluru ve diğ., 2010).



Şekil 1.10. Hidrolik pistonlu briketleme makinesi (KTAE, 2015)

1.12 Briket Karakteristikleri

a) Fiziksel karakteristikler

Briketlerin; materyal yoğunluğundan dolayı kapladıkları hacimleri azaltarak taşıma, depolama vb. maliyet değerlerini düşürmesi ve briketlerin kalite ve sağlamlıklarını belirleyebilmek amacıyla yapılan çalışmalardır. Bunlar;

- Yoğunluk (Hacim ağırlığı)
- Kırılma direnci (Shatter indeksi)
- Düşme-dayanıklılık direnci (Tumbler indeksi)
- Deformasyon kuvveti direnci
- Su alma direnci
- Nem içeriği
- Hava nemi direnci (Eşdeğer nem içeriği) testleridir.

b) Kimyasal karakteristikler

Üretilen briketlerin, kimyasal karakteristikleri belirlenerek hem çevreye verebilecekleri zararlar hem de yakıt olarak kullanılabilme özellikleri belirlenebilmektedir.

- Baca gazı emisyon değerleri
- Isıl değerler
- Kül içeriği
- Uçucu madde tayini
- Elementel analiz

1.13 Tezin Amacı

Ülkemiz kaynak olarak çok büyük bir tarımsal artık potansiyeline sahiptir. Bu artıklar önemli bir biyokütle kaynağıdır. Karadeniz Bölgesinde başta fındık olmak üzere birçok tarımsal ürün üretilmektedir. Ancak, bu ürünlerden ortaya çıkan tarımsal artıklar ya anız olarak değerlendirilmekte ya da çöp alanlarına atılarak bertaraf edilmektedir. Bunun gibi kontrolsüz uygulamalar belirgin çevresel kirliliğe yol açmaktadır. Bölgemizde tarımsal faaliyetler sonucu açığa çıkan artıkların kontrollü bir şekilde ve daha verimli olarak değerlendirilmesi, hem bu artıkların ülke ekonomisine kazandırılmasına hem de çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılmasına yardımcı olacaktır.

Bölgemizde açığa çıkan bu tarımsal artıkların briketlenmesiyle evlerde ve küçük işletmelerde ısı ihtiyacını karşılayabilecek alternatif bir yakıt elde edilecek ve ayrıca çevreye zarar veren sera gazlarının azalması ile doğal kaynakların korunması sağlanacaktır.

Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesi'nde yetiştiriciliği yapılan fındık, mısır ve ayçiçeği bitkisi tarımsal ürünlerinin hasat ve harman işlemlerinden sonra büyük miktarlarda açığa çıkan artıklar; iki farklı nem içeriğinde (%8-10, %13-15), iki farklı sıkıştırma basıncında (80 ve 160 MPa) ve iki farklı öğütme inceliğinde (2-5 ve 7-10 mm) briketlenmiştir. Bu amaçla, bu artıklardan elde edilen briketlerin fiziko-mekanik özellikleri, yanma sonu çıkan gaz emisyonları, kül içerikleri ve ısı değerleri bakımından en uygun briketleme parametreleri araştırılmıştır.



2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tripathi ve diğ. (1998), Hindistan'da biyokütle briketleme teknolojisinin ekonomik analizi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Hindistan'da ticari olarak yoğun bir şekilde kullanılan piston presli briketleme makinesi ile farklı özelliklerdeki ham materyaller kullanılarak briketleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu makinelerde briket üretimi aşamasına kadar gerçekleşen işlemler için basit maliyet analizleri yapılmıştır. Çalışmada özellikle tarımsal artıklar, odun biyokütlesi, talaş vb. materyaller briketlenmiştir. Ham materyalin seçiminde en önemli faktörlerin; materyal nem içeriği, kül içeriği, materyalin akış özelliği ve materyal parçacık boyutu olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda, %10-15 nem aralığındaki materyalin tercih edilmesi gerektiği, çünkü yüksek nem içeriğine sahip materyallerin kurutma masrafları fazla olacağı belirtilmiştir. Ayrıca, briketleme için kullanılan materyallerin kül içerikleri %4 olarak belirlenmiş ve 6-8 mm parçacık boyutuna sahip homojen dağılmış materyalin tercih edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Demirbaş (1999) yaptığı çalışmada, artık kâğıt ve buğday sapı artıklarını biyokütle kaynağı olarak kullanmış ve 6 farklı sıkıştırma basıncında (300, 400, 500, 600, 700 ve 800 MPa) herhangi bir yapıştırıcı katkı maddesi kullanmadan briketler elde etmiştir. Ayrıca bu biyokütle artıklarının karışımları da sıkıştırılmıştır. Elde edilen briketler için sıkıştırma basıncı, yoğunluk, nem içeriği ve sıkıştırmaya olan dayanıklılıkları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda en iyi briketler, artık kâğıt için %18 nem içeriği 780 MPa sıkıştırma basıncı, buğday sapı için %18-22 nem içeriği ve 710 MPa sıkıştırma basıncı ve her iki atığın karışımından elde edilen briketler için %20 nem içeriği ve 750 MPa sıkıştırma basıncı olarak tespit edilmiştir. Ayrıca buğday briketlerinin yoğunluğu üzerinde sıkıştırma sıcaklıkları etkili bulunmuş ve en etkili sıcaklık 112°C'dir.

Dare ve diğ. (2001) tarafından yapılan çalışmada iki biyokütle örneğinin yanma performansı 50 kW gücündeki laboratuvar ölçekli otomatik tip yakıcı kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada biyokütle örneği olarak orta derecede nemli ağaç kabuğu artıkları (%38.9) ve yüksek nem içeriğine sahip okaliptüs ağacının gövde kısmı (%51.4) kullanılmıştır. Her iki biyokütle materyalinden de 50-60 kg örnek yakıcıda ayrı ayrı yakılmıştır. Çalışmada baca gazı emisyonları (partikül konsantrasyonu, O₂, N₂O, CO, CO₂, SO₂ ve CH₄) baca gazı analizörü kullanılarak ölçülmüştür. Çalışma

sonunda, okaliptüs ağacının yakılması sonucu oluşan partikül konsantrasyonunun (191 mg.m^{-3}), ağaç kabuklarına (91 mg.m^{-3}) göre önemli derecede daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Okaliptüs ağacının yakılması ile oluşan yüksek CO (2450 ppm) ve CH₄ (86 ppm) emisyonlarının birincil nedeninin yüksek nem içeriği olduğu belirtilmiştir.

Yaman ve diğ. (2001), zeytin artığı ve kâğıt fabrikası artığını yakıt amaçlı kullanılmak üzere briket üretim çalışmaları yapmışlardır. 150, 200 ve 250 MPa briketleme basıncında üretilen briketlerin mekanik özellikleri belirlenmiş ve kâğıt fabrikası atığından üretilen briketlerin daha sağlam olduğu tespit edilmiştir. Kâğıt fabrikası atığından üretilen briketlerin farklı nem içeriklerinin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Optimum briketleme basıncının 200 MPa, nem içeriğinin ise %75 olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, briket üretimi için kâğıt fabrikası artığının tek başına ya da zeytin artığı ile karıştırılarak kullanılması uygun görülmüştür.

Bhattacharya ve diğ. (2002), yaptıkları çalışmada, çeltik kavuzu tarımsal atığını briketlemişler ve elektrik tüketim değerlerini azaltmak için, ön ısıtma işlemi gerçekleştirmeden tasarım ve çalışma parametreleri belirlemişlerdir. Kullanılan briketleme makinesi, 20 BG elektrik motoru gücüne ve 90 kg.h^{-1} kapasiteye sahiptir. Kalıp ön ısıtması için özel bir kalıp sobası tasarımı uygulanmıştır. Yapılan denemeler sonucunda ön ısıtma işlemi için kullanılan elektrik enerjisi tüketim değeri %23.5'ten %10.8'e düşmüştür. Toplam enerji tüketiminde %10.2 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Çeltik kavuzu briketi için tüketilen enerji miktarı $0.172 \text{ kWh.kg}^{-1}$ iken, bu değer $0.150 \text{ kWh.kg}^{-1}$ 'a düşürülmüştür. Ön ısıtmada kullanılan soba sıcaklığı değerleri $300\text{-}320^\circ\text{C}$ arasında değişmiştir. Briket elde edilmesi için toplam enerji tüketiminde %35 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Husain ve diğ. (2002) yaptıkları çalışmalarında, hurma lifi ve kabuklarının $5\text{-}13.5 \text{ MPa}$ basınç aralıklarında sıkıştırıldığı hidrolik tip briketleme makinesinde, briketlerin çarpma ve sıkıştırma kuvvetleri, dayanıklılığı ve hacim ağırlıklarını belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen briketlerin yoğunluğu $1100\text{-}1200 \text{ kg.m}^{-3}$ arasında bulunmuştur. Ayrıca, briket yoğunluğunun sıkıştırma basıncı ile arttığı, briket özelliklerinin oldukça iyi olduğu ve briketlerin nem almaya karşı dayanıklı oldukları belirlenmiştir.

Ndiema ve diğ. (2002) yaptıkları çalışmada, $20\text{-}140 \text{ MPa}$ sıkıştırma basıncı altında tarımsal artıklardan briketler elde etmişlerdir. Çalışmada briketlenmiş

biyokütlenin depolanma davranışları üzerine kalıp basıncının etkileri belirlenmiştir. Denemelerde hidrolik pres kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, elde edilen briketlerin uzama ve boşluk hacim yüzdesinin 80 MPa sıkıştırma basıncına kadar hızlı bir şekilde azaldığını, fakat 80 MPa' ın üzerindeki basınçlarda fazla değişmediğini göstermiştir. Sonuç olarak, verilen kalıp ölçüleri ve depolama şartları için maksimum kalıp basıncı (80 MPa) dışındaki basıncı artırmanın önemli bir kazanç getirmediği belirlenmiştir.

González ve diğ. (2004) tarafından yapılan çalışmada, evsel ısıtma için 11.6 kW'lık kat kaloriferinde farklı biyokütle artıklarının yanma işlemlerinin optimizasyonu amaçlanmış ve yanma parametreleri üzerine artık tipi, yakıt kütle akışı ve havalandırma gibi önemli parametreler belirlenmiştir. Çalışmada yakıt olarak 4 farklı biyokütle artıklarından (domates (kabuk ve tohum), odun, zeytin çekirdeği ve kenger otu) elde edilen 5 mm çapında ve 20 mm uzunluğunda peletler kullanılmıştır. Çalışma sonunda başlıca yanma parametreleri üzerine kütle akış ve havalandırma oranlarının etkisinin bütün artık materyaller için benzer olduğu bulunmuştur. Kütle akışındaki artışın, baca gazındaki O₂ içeriğinde azalmaya ve CO₂ ile CO emisyonunda, baca gazı hacimsel akışında, hava çıkış sıcaklığında ve yanma veriminde bir artışa neden olduğu, havalandırma oranındaki bir artışın ise baca gazındaki O₂ içeriğinde artışa, CO emisyonu ve yanma veriminde azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca maksimum yakıt kütle akışı (%100) ve minimum havalandırma (%0) durumunda elde edilen kazan verimlilikleri domates, odun, zeytin çekirdeği ve kenger otu peletleri için sırayla %90, %90.5, %89.7 ve %91.6 olarak bulunmuştur. En yüksek kazan verimliliği (%92.4) %75 kütle akışı ve %0 havalandırma için %75 domates ve %25 odun peleti karışımında elde edilmiştir.

Kaynak ve diğ. (2005) tarafından yapılan çalışmada, hava kabarcıklı bir akışkan yatakta meyve suyu fabrikalarında artık olarak çıkan şeftali ve kayısı çekirdeklerinin yanma karakteristikleri araştırılmış ve artıkların yanma karakteristikleri linyit kömürü ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada yanma denemeleri süresince O₂, CO, CO₂, SO₂, NO_x emisyonları ve toplam hidrokarbonlar (C_mH_n) ölçülmüştür. Yanma denemeleri için hem meyve çekirdekleri hem de kömür için 1.4 – 3.36 mm çap aralığındaki parçacıklar seçilmiştir. Bütün denemeler üç farklı (10, 15 ve 20 g.min⁻¹) yakıt besleme oranında yapılmıştır. Meyve çekirdekleri ve kömür için emisyonlar baca gazında %7 O₂ seviyesine göre ölçülmüştür. Çalışma sonunda, yanma denemeleri süresince şeftali ve kayısı çekirdeklerinden uçucu maddelerin hızlı biçimde uçucu hale geldikleri

gözlemlenmiştir. Şeftali ve kayısı çekirdeği ve kömür için yanma etkinliğinin sırası ile %96.0-97.5, %93.4-96.3 ve %98.8-99.1 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca CO emisyonunun kömür için hemen hemen sıfır, biyokütle yakıtları için ise çok yüksek ve SO₂ emisyonun biyokütle yakıtları için sıfır, kömür için ise 2.400-2.800 mg/Nm³ aralığında olduğu ve NO_x emisyonlarının tüm yakıtlar için Hava Kontrol Yönetmeliği tarafından belirtilen limit değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir.

Kürklü ve Bilgin (2005) tarafından yapılan çalışmada, biyokütle briketleme makineleri incelenmiş ve araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile ilgili sonuçlar verilmiştir. Yapılan çalışmalar, briket yoğunluğu artışı için en önemli faktörlerin basınç, partikül boyutu, sıcaklık ve nem içeriği, briket kalitesi için ise hacim ağırlığı, nem içeriği, mukavemet, sıkıştırma basıncı, basınç uygulama zamanı ve yapıştırıcı materyal olduğunu göstermiştir. Ayrıca en uygun briketleme nemi materyal çeşidine bağlı olarak %10-20 arasında değiştiği belirtilmiştir.

Yaman (2005) yılında yaptığı çalışmada, briketlenme materyali olarak gazete kâğıdı, mısır sapı, ladin odun talaşı ve buğday samanı kullanmıştır. Briketlenmiş yakıtların yoğunluğu, kırılma direnci (shatter indeksi), düşme-dayanıklılık direnci (tumbler indeksi), nem içerikleri tayin edilmiş ve bunlarla ilgili özellikleri incelemiştir. Deneylerde parça büyüklüğü 1.4 mm ile 3.3 mm olan numuneler kullanılmıştır. Parça büyüklüğü 3.35 mm'den küçük olan materyallerin daha iyi briketlendiği gözlenmiştir. Kırılma direncinin en büyük değeri (%99.40) ladin odun tozu briketinden elde edilmiştir. Düşme-dayanıklılık direncinin en büyük değeri (%95.40) ladin odun tozu briketinden elde edilmiştir. Briketlerin su almaya karşı gösterdikleri direncin en büyük değeri ise %92.76 ile ladin odun tozu briketinden elde edilmiştir.

Al-Widyan ve diğ. (2006) tarafından yapılan çalışmada, dikey boru tipi bir ocakta nem içeriği %7.31 ve partikül boyutu ≤ 0.2 mm olan ezilmiş zeytin küspesi (prina) verimli bir şekilde yakılmış ve maksimum ısı ve yanma verimlilikleri ile baca gazı emisyon değerleri ölçülmüştür. Denemelerde hava-yakıt oranı 5.9 – 10.2 arasında değişmiştir. Çalışma sonunda maksimum ısı ve yanma verimlilikleri sırası ile %69 ve %82 olarak belirlenmiş, maksimum alev sıcaklığı 980°C' ye ulaşmış ve soğutma suyu sıcaklığı değişimi yaklaşık 20°C olmuştur. NO_x ve SO₂ emisyonu ile maksimum 550 ppm ve 30 ppm iken, CO emisyonunun %1.6' dan (<16.000 ppm) düşük olduğu belirlenmiştir. Daha yüksek hava/yakıt oranında daha az zeytin küspesinin

yakılmasının, özellikle CO₂ emisyonunun önemli derecede azalmasına neden olduğu belirlenmiştir.

Suhagar ve diğ. (2006) tarafından yapılan çalışmada, parçalanmış mısır sapı örnekleri 3 farklı basınçta ve nem içeriğinde hidrolik tip briketleme makinesi ile briketlenmiş ve 32 mm çapında ve 20-25 mm uzunluğunda briketler elde edilmiştir. Briket yoğunluğunun uygulama basıncındaki artış ile oldukça arttığı ve maksimum 950 kg.m⁻³ olduğu belirlenmiştir. Yüksek nem içeriğinde elde edilen briketlerde daha fazla yüzeysel çatlaklar ve eksenel genleşmeler gözlemlenmiştir. Briketlerin dayanıklılık dirençlerinin %67-94 arasında değiştiği, düşük nem içeriklerinde ve yüksek uygulama basıncında dayanıklılık direncinin %90'dan fazla olduğu belirlenmiştir.

Amaya ve diğ. (2007), tarımsal faaliyetler sonucu üretilen biyokütle artıklarının değerlendirilmesi amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Okaliptus ağacı ve pirinç kabuğu artıklarından elde edilen aktif karbonu hammadde, konsantre üzümü bağlayıcı olarak kullanarak briket üretilmiştir. Karbonizasyon 500°C'de 2 saat bekletilerek 1.4°C.d⁻¹ ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Karbonizasyon ürünü olan çar, briket üretimi için 80 mesh (ASTM) boyutuna getirilmiştir. 1 gram numuneye (bağlayıcı: çar oranı 1:4 ve 1:6) hidrolik preste 6 dakika 140 MPa basınç uygulanarak 1 cm çapında briketler elde edilmiştir. Briketler daha sonra aktive edilmiştir. Hammaddenin, briketlerin ve aktif karbonun termogravimetrik analizleri yapılmıştır. Okaliptus ağacı ve pirinç kabuklarından elde edilen aktif karbon ve bağlayıcı olarak üzümün kullanılmasıyla elde edilen briketlerin aktif karbon briketleri üretimi için alternatif oluşturduğu görülmüştür. Düşük miktarda pirinç kabuğu (kütlece %10) eklenmesinin briketlerin mekanik özelliklerini arttırdığı gözlenmiştir.

Zhou ve Zhang (2007) oda sıcaklığında briketlemenin, sıcak briketlemeye göre daha az yatırım, enerji tüketimi ve işletim maliyetine sahip olması nedeniyle, daha uygun olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca sıcak briketleme işleminin nem içeriğine karşı çok hassas olduğunu, sıcak briketleme için nem içeriğinin %6-14, oda sıcaklığında briketleme için ise malzemenin nem içeriğinin %8-35 olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Bilgin (2008) seralardan çıkan domates, biber ve patlıcan bitkisi biyokütle artıklarını katı yakıt elde etmek için briketlemiş ve briketlerin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Biyokütle artıklarının briketlenmesi için 15 kW gücünde helezon tip briketleme makinesi kullanılmıştır. Çalışmada ortalama 57 mm çapında 25 mm merkez delikli yüzeyi karbonize olmuş silindirik ve köşeli briketler elde edilmiştir. Briketleme makinesinin kapasitesi ve toplam enerji tüketimi silindirik ve köşeli briketler için sırasıyla 110-115 kg.h⁻¹ ile 9.12-9.48 kWh ve 137-152 kg.h⁻¹ ile 10.70-12.32 kWh arasında değişmiştir. Domates, biber ve patlıcan bitkisi materyallerinin kül içerikleri sırası ile %7.6, %3.67 ve %4.33 olarak belirlenmiştir. Yine aynı sırayla briketlerin alt ısı değerleri ise 15.74 MJ.kg⁻¹, 17.89 MJ.kg⁻¹ ve 17.76 MJ.kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Silindirik ve köşeli briketlerin fiziksel testler sonunda yüksek yoğunluk, düşme-dayanıklılık direnci, kırılma direnci, su alma direnci ve eş değer nem içeriğinden dolayı oldukça sağlam yapıda oldukları belirlenmiştir.

Karaca (2009) yapmış olduğu çalışmada, Çukurova Bölgesindeki tarıma dayalı sanayi artıkları briketlenerek alternatif yakıt oluşturulmuş, briketlerin fiziksel özellikleri, ısı değerleri ve elementel özellikleri belirlenmiştir. Bölgede tarıma dayalı sanayi artıklarından ayçiçeği küspesi, pamuk çırçır atığı (şif); yerfıstığı kabuğu, defne yaprağı ve zeytinyağı işleme atığının (prina) 2.66 PJ enerji potansiyeli oluşturduğunu belirlemiştir. Briketleme işlemi için helezonlu briketleme makinesi kullanılmıştır. Elde edilen briketlerin hacim ağırlıklarının 945-1573 kg.m⁻³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Briketlerin kırılma dirençlerinin 275-4700 N arasında değiştiği belirlenmiştir. Analiz sonuçlarında, briketlerin üst ısı değerlerinin 17.66-20.69 MJ.kg⁻¹, kül içeriklerinin %4.10-10.72 ve uçucu madde içeriklerinin %74.5-87.8 arasında olduğu belirlenmiştir. Yanma sonucunda artıkların baca gazı emisyonlarının odununkinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca briketlerin maksimum yanma verimleri %63-85 arasında değiştiği görülmüştür. Bölgedeki artıkların enerjiye dönüştürülmesi için kurulabilecek olan 5 MW el kapasiteli bir bileşik ısı ve güç santralinin yapılan ekonomik analizleri sonucunda yatırımın karlı olabileceği belirlenmiştir. Santralde elde edilecek elektriğin maliyeti 0.0264 \$/kWh olarak hesaplanmıştır.

Sayakoummane ve Ussawarujikulchai (2009), Lao Demokratik Cumhuriyeti'nde her yıl büyük miktarlarda orman biyokütle artığı açığa çıkmaktadır. Özellikle Khammouane bölgesinde açığa çıkan bu artıklar önemli bir yakıt kaynağı oluşturmaktadır. Bu çalışmada, bu artıklar kullanılarak elde edilen odun kömürü ve briketleri için en uygun fiziksel ve kimyasal özellikler belirlenmeye çalışılmıştır. 6 farklı ağaç çeşidinden elde edilen odun kömürü briketlerinin laboratuvar ortamında belirlenen fiziksel ve kimyasal özellikleri sonuçlarına göre iyi ve kaliteli briketler üretilmiştir. Bu briketler için %0.76 ve %3.17 nem içeriği değerlerinde en yüksek ısı değeri 31.9 MJ.kg⁻¹, sabit karbon %78.68 ve kül içeriği değerleri %1.88 ve %3.79 olarak belirlenmiştir. Bu araştırma sonucunda, odun kömürü briketlerinin alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Singh ve diğ. (2009), briketlerin bazı yakıt ve yanma özellikleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada hidrolik bir pres kullanılarak farklı oranlarda biyokütle (%30) ve farklı oranlarda kömür ve linyit (%70) kullanılarak briketler elde edilmiştir. Elde edilen briketlerin içerisine CaCO₃ ve Ca(OH)₂ katkı maddeleri eklenerek SO₂ emisyonları %80-90 oranında azaltılmış ve bunun sonucunda oluşan çevre kirliliği minimize edilmiştir. Kömür, linyit ve biyokütle karışımlarından briketler daha iyi fiziko mekanik ve yanma özellikleri göstermiştir. Elde edilen biyo briketlerin tutuşma sıcaklıkları kömür ve linyitin tutuşma sıcaklıklarından daha düşük olduğu ve ısı değerlerinin biyokütleden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun sonucu olarak biyo briketlerin odun, kömür ve linyite alternatif bir yakıt kaynağı olabileceği belirlenmiştir.

Wilaipon (2009), Kuzey Tayland'da muz üretimi en önemli tarımsal ürünlerden biridir. Endüstriyel faaliyetler sonucunda çok büyük miktarlarda muz kabuğu atığı ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, önemli miktarda açığa çıkan muz kabuğu artıklarının briketleme özellikleri araştırılmıştır. Briketler, 34 MPa maksimum sıkıştırma basıncına sahip yarı otomatik bir laboratuvar ölçekli hidrolik pres kullanılarak 3-15 MPa sıkıştırma basınçları altında elde edilmiştir. 38 mm çap ve 100 mm uzunluğa sahip briket kalıbı kullanılmıştır. Tüm sıkıştırma denemeleri laboratuvar koşullarında (27°C ve %50-60 nem) gerçekleştirilmiştir. Denemeler sonucunda, briketleme üzerinde en önemli parametrelerden birinin bekleme süresi olduğu belirlenmiştir. Briket yoğunluğu üzerinde briket sıkıştırma basıncı ve hacim

yoğunluğu faktörleri de etkili bulunmuştur. 7 ve 9 MPa sıkıştırma basıncı altında elde edilen briketlerin sağlam ve kaliteli olduğu belirlenmiştir.

Bilgin (2010) tarafından yapılan çalışmada konik helezon tip briketleme makinesinde elde edilmiş pamuk ve susam sapı briketlerinin baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi amacı ile briketler evsel ısıtmalarda kullanılan geleneksel kovalı tip sobada yakılmıştır. Çalışmada, baca gazı emisyonları ile ilgili olarak CO, CO₂, SO₂, NO_x, H₂S ve O₂ değerleri ile baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi bir baca gazı analizörü ile ölçülmüştür. Çalışma sonunda baca gazı emisyon değerleri yanma işlemi kararlı durumda iken oldukça düşük bulunmuştur. Yanma işlemi kararlı durumda iken pamuk ve susam sapı briketleri için en düşük CO emisyonu sırası ile 57 ppm ve 160 ppm, ortalama NO_x emisyonu 196 ppm ve 146 ppm, H₂S emisyonu 37 ppm ve 27 ppm, CO₂ emisyonu %7.92 ve %7.41 ve O₂ emisyonu ise %12.81 ve %13.33 olmuştur. Yanma süresince pamuk ve susam briketleri SO₂ emisyonu meydana getirmemiştir. Kararlı durum süresince pamuk ve susam sapı briketleri için ortalama baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi sırası ile 400°C ve 403°C, %70 ve %69 olarak ölçülmüştür.

Evans ve diğ. (2010) fiyat, verimlilik, sera gazı emisyonları, kullanılabilirlik, sınırlamalar, arazi kullanımı, su kullanımı ve sosyal etkiler gibi temel göstergelere göre biyokütleden elektrik üretiminin sürdürülebilirliğini değerlendirmişlerdir. Biyokütleden elektrik üretimi genellikle fiyat, verimlilik, emisyonlar, kullanılabilirlik ve sınırlamalar bakımından uygundur, fakat çoğunlukla sosyal etkiler ile yüksek toprak ve su kullanımı bakımından uygun olmadığı belirtilmektedir. Dünyada elektrik üretmek için biyokütle kullanımı giderek artmaktadır. 2000-2008 yılları arasında biyokütle kullanımı ile elektrik üretimi yılda ortalama 13 TWh olmuştur. Biyokütleyle dayalı elektrik toplam küresel üretim içinde yaklaşık olarak %2 ile son 20 yıldır dünyadaki pazar payını korumaktadır. Şu anda dünyada toplam 62 ülkede biyokütleden elektrik üretilmektedir. Biyokütleden üretilen elektriğin %26'sını ABD karşılamakta, onu Almanya (%15), Brezilya ve Japonya (her ikisi de %7) takip etmektedir. Biyokütlenin, küresel enerji güvenliğini (birincil sorun) sağlamaya ve karbon kirliliğini (ikincil sorun) azaltmaya yardımcı olabileceği belirtilmektedir.

Muntean ve diğ. (2010), briket üretimi için kullanılan hidrolik piston presli bir briketleme makinesinin sıkıştırma verimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada hidrolik tip bir briketleme makinesi kullanılarak 65 mm çapında ve 30-50 mm

uzunluklar arasında değişen briketler elde edilmiştir. Materyal olarak ayçiçeği çekirdeği kabuğu, sorgum sapı, odun talaşı ve parçalanmış tahıl kökleri kullanılmıştır. Herhangi bir katkı maddesi briketleme esnasında kullanılmamıştır. Başlangıçta briketleme yapılacak materyalin özellikleriyle birlikte kullanılan sıkıştırma teknolojisinin, hidrolik piston briketleme basıncını etkilediği belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, briket üretimi için en uygun sıkıştırma rejimi tipi için sıkıştırma parametreleri belirlenmiştir ve buna göre bir model oluşturulmuştur.

Yumak ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada, farklı nem içeriğine sahip (%7, %10 ve %13) soda otu, farklı briketleme basınçlarında (15.7 MPa, 19.6 MPa ve 31.4 MPa) hidrolik briketleme makinesinde briketlenmiştir. Denemelerde silindirik ve kare kalıplar kullanılmıştır. Çalışmada daha sağlam briketler üretmek için optimum sıcaklık, nem içeriği ve basınç değerleri belirlenmiş, ayrıca katkı maddesi olarak odun talaşının ve ceviz kabuklarının kullanımının briket özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Denemeler sonunda, farklı kalıplarda elde edilen soda otu briketleri için en uygun nem içeriği, briketleme basıncı ve materyal sıcaklıkları sırası ile %7-10, 31.4 MPa ve 85-105 °C olarak belirlenmiştir. Katkı maddesi olarak odun talaşı ve ceviz kabuklarının kullanılması briket yoğunluğunu artırmıştır. Herhangi bir katkı maddesi kullanılmadan elde edilen soda otu briketleri yoğunluğunun 600-950 kg.m⁻³, katkı maddesi oranına bağlı olarak odun talaşı kullanılarak elde edilen soda otu briketlerinin yoğunluğunun 800-1100 kg.m⁻³ ve ceviz kabuğu kullanılarak elde edilen soda otu briketlerinin yoğunluğunun 1000-1150 kg.m⁻³ arasında değiştiği belirlenmiştir.

Faizal ve diğ. (2011), Malezya'da her yıl palmiye yağı üretiminden sonra önemli miktarlarda palmiye atığı ortaya çıkmaktadır. Bu artıkların değerlendirilmesinde briketleme teknolojisi kullanılarak hem çevre kirliliğinin azaltılması hem de artıkların katı biyoyakıt olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır. Çalışmada, farklı sıkıştırma basınçlarında elde edilen briketlerin fiziksel özellikleri ve yanma karakteristikleri belirlenmiştir. Briketler hidrolik tip bir pres kullanılarak 3, 5, 7, 9 ve 11 MPa sıkıştırma basıncında üretilmişlerdir. Briketlerin hacim ağırlıkları 950-1010 kg.m⁻³ arasında değişmiştir. Çalışma sonucunda, sıkıştırma basıncı arttıkça briket yoğunluğu ve ısı değerlerinde bir artış olduğu, yanma verimi ve kül içeriği değerlerinde ise azalma meydana geldiği belirlenmiştir.

Ka ıtis ve diğ. (2011), çalışmalarında; hasır, kamyı ve kenevir saplarından elde edilen briketlerin, taşıma ve kullanımı için briket kalitesine etkili olan faktörleri araştırmışlardır. Briketlerin hacim ağırlıklarının standartların üzerinde olduğu belirlenmiş olup, 1050-1140 kg.m⁻³ arasında değiştiği g r lm ştir. Sıkıştırma işlemleri için kullanılacak sap materyalin en uygun parçacık boyutuna getirilmesi için önemli miktarda enerji t k tilmiştir. Hesaplanan enerji değeri, 3 mm'den büyük kamyı parçacıkları için 7 kJ.kg⁻¹ iken, bu değer 20 mm parçacık boyutu için yaklaşık olarak 1 kJ.kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Denemelerde parçacık boyu uzunluğu 30, 60 ve 100 mm hasır sapı, 30, 60, 150 ve 300 mm kamyı sapı ve 150 ve 300 mm kenevir sapı kullanılmıştır. Sap materyali, belirli uzunluklarda bir kalıp içerisine yerleştirilmiştir. Hidrolik tip bir pres kullanılarak 158 MPa basıncı altında 62 mm çapta ve 212 MPa altında 36 mm çapta briketler elde edilmiştir. Parçacık boyut uzunluğu arttıkça briketlerin hacim ağırlıkları ve kırılma dirençlerinde artışlar gözlemlenmiştir. En büyük artış kenevir sapı briketlerinde 300 mm parçacık uzunluğunda 1135 kg.m⁻³ olarak tespit edilmiştir.

Suhartini ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada, Endonezya'da yağ endüstrisinde ham palmiye yağının işlenmesinden elde edilen ve emici özellikli katı artık maddeler briketlemiştir. Çalışmada briketleme işlemi üzerine farklı basıncı uygulamalarının (9.81 MPa, 14.71 MPa ve 19.62 MPa) ve farklı oranlarda (%8, %10 ve %12) yapıştırıcı madde (polisakkaritin=kompleks şekerler) kullanımının etkileri incelenmiştir. Çalışmada 8 cm çapında, 2 cm merkez delikli ve 5 cm yüksekliğinde briketler elde etmek için hidrolik briketleme makinesi kullanılmıştır. Kalıptan alınan briketler 60 C sıcaklıkta 24 saat süreyle kurutulmuştur. Belirli bir oranda yapıştırıcı ve briketleme basıncındaki artış briket nem içeriğini d ş rm ştir. Briketleme basıncındaki artış briketlerin basıncı dayanımını artırmış ve %10 yapıştırıcı oranında en yüksek basıncı dayanımı değeri elde edilmiştir. Sonuç olarak, briketin fiziksel karakteristikleri Endonezya ulusal standartlarına göre odun briketi için verilen standart değerlerle benzerlik göstermiştir.

Akman (2012) yılında yaptığı çalışmada, Isparta bölgesindeki gül yağı işleme tesislerinden çıkan artıkları katı yakıt olarak briketlemiştir. Çalışmada maksimum sıkıştırma basıncı 350 MPa olan hidrolik pres ve 150 mm yüksekliğinde 60 mm ve 80 mm iç çapa sahip silindirik kalıplar kullanılmıştır. Denemelerde materyal nem içeriği %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 artıkları 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 hacim ağırlıkları, düşme dayanıklılık direnci (tumbler direnci), kırılma direnci (shatter direnci), su alma direnci, hava nemi direnci (eşdeğer nem içeriği) değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, briketlerin geleneksel kovalı tip sobada yakılması sonucu atmosfere salınan baca gazı emisyon değerleri ölçülmüştür. Test öncesi briketler 7 gün süre ile çevre şartlarında bekletilmiştir. Çalışma sonunda 100 mm yüksekliğinde, 60 mm deliksiz ve 80 mm çapında 20 mm merkezi delikli briketler elde edilmiştir. Briketlerin hacim ağırlıkları yaş bazda 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.

Bilgin (2012) tarafından yapılan çalışmada, kamış (*ArundoDonax L.*) ve sazlık (*Phragmitesaustralis*) bitkileri, 15 kW motor gücüne sahip konik vidalı bir briketleme makinesinde briketlenmiş ve baca gazı emisyon değerleri belirlenmiştir. Denemelerde, 57 mm çapında, 75 mm uzunluğunda ve çapı 25 mm merkez delikli silindirik briketler ev ısıtmasında kullanılan geleneksel kovalı tip sobada yakılmıştır. Baca gazı emisyon değerleri (CO, CO₂, SO₂, NO_x, H₂S ve O₂) ve baca gazı sıcaklığı ve yanma verimleri ölçülmüştür. Yanma işlemi kararlı durumda iken, ölçülen baca gazı emisyon değerleri çok düşük olarak bulunmuştur. Kamış ve sazlık bitkisi briketi için en düşük CO emisyonu sırası ile 130 ppm ve 106 ppm, ortalama NO_x emisyonu 219 ppm ve 135 ppm ve ortalama CO₂ emisyonu %8.8 ve %7.55 olarak bulunmuştur. Yanma sırasında kamış ve sazlık bitkisi briketlerinde herhangi bir SO₂ emisyonuna meydana gelmemiş ve tüm briketler için H₂S emisyonu önemsiz bulunmuştur. Yanma işlemi kararlı durumda iken, ortalama baca gazı sıcaklığı kamış ve sazlık bitkisi briketi için sırası ile 452°C ve 453°C ve yanma verimi %70 ve %67 olarak belirlenmiştir.

Karunanithy ve diğ. (2012), çalışmalarında farklı hammaddelerden elde edilen briketlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri karşılaştırılmıştır (parçacık boyut dağılımı, geometrik ortalama çap, özgül hacim ve kütle, porozite, geçiş sıcaklığı, hacim ağırlığı, sağlamlık). Briketler, 40 BG gücünde 150-200 kg.h⁻¹ kapasiteli yatay olarak konumlandırılmış bir hidrolik pres kullanılarak elde edilmiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda, briketlerin kimyasal özelliklerinin hacim ağırlığı, porozite ve sağlamlık üzerinde çok önemli olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda düşük nem içeriğinde elde edilen ve lignin değeri %21-25 arasında olan materyallerin daha sağlam olduğu ve materyal yoğunluğunu arttırdığını göstermiştir. Buna bağlı olarak, pamuk sapı briketlerinin yoğunluğu 964 kg.m⁻³ ve sağlamlık değeri %92 olarak tespit edilmiştir.

Mythili ve Venkatachalam (2012), çalışmalarında bezelye sapı, soya sapı ve pamuk sapı kullanarak briketler elde etmişlerdir. Ham materyalin nem içeriği %12-15'e düşene kadar doğal ortamda kurutulmuştur. Briketleme işlemi için 100 MPa'a kadar sıkıştırma işlemi yapabilen ve kalıp çapı 40 mm olan bir briketleme makinesi kullanılmıştır. Briketleme esnasında herhangi bir yapıştırıcı madde kullanılmamıştır. Briketlerin özellikleri ASTM standartlarına göre belirlenmiştir. Elde edilen briketlerin özgül kütlesi 340.7-657.9 kg.m⁻³, ısı değerleri ise 16.83-20.54 MJ.kg⁻¹ arasında değişmiştir. Briketler için ortalama kırılma kuvveti değeri 1.08 kN.m⁻² olarak belirlenmiştir. Briketler aşağı hava akımlı bir gazlaştırıcıda yakılmış ve üretilen gaz miktarları; bezelye sapı için 2.8 Nm³.kg⁻¹, pamuk sapı için 2.5 Nm³.kg⁻¹ ve soya sapı için 3.1 Nm³.kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Üretilen gazlar ise %18.6 CO ve %12 H₂ olmuştur. Çalışmanın sonucunda briketlerin enerji üretimi için uygun olduğu belirlenmiştir.

Ahiduzzaman ve Islam (2013), enerji sıkıntısı yaşayan ülkelerde, biyokütleden briket yakıtı elde edilirken elektrik enerjisinin gereğinden fazla tüketilmesinin çok önemli bir problem olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, çeltik kavuzlarından, elektrik motorlu ve kalıp ısıtmalı bir helezon pres kullanılarak briketler elde edilmiştir. Biyokütleden briket elde edilirken tüketilen enerjinin azaltılabilmesi için, kullanılan elektrikli kalıp ısıtıcısının yerine biyokütle yakıtlı bir soba geliştirilmiştir. Kullanılan biyokütle sobasının kapasitesi briket üretimine göre ısı kapasitesini arttırabilmektedir. Briket sobası tuğla ve kilden yapılmıştır. Sobanın sıcaklığı, briketleme makinesinden elde edilen çeltik kavuzu briketleriyle arttırılıp azaltılabilmektedir. Bu şekilde

kullanılan soba sayesinde elektrik tüketimi azaltılmıştır. Çalışmada saate 6 kW elektrik enerjisi tüketen ısıtıcı yerine bu soba kullanılmıştır. Bu sayede elektrik enerjisi tüketimi yarı yarıya düşmüştür.

Davies ve diğ. (2013), farklı biyokütle yakıt kaynaklarının (briket, kömür ve odun) yanma karakteristiklerinin belirlendiği bu çalışmada; ısıl değerler, tutuşma zamanı, yanma verimi, spesifik yakıt tüketimi, yakıt verimi ve suyu kaynatma sıcaklığı değerleri belirlenmiştir. Çalışmada, en yüksek yakıt verimi kömür için 31.29 ± 0.19 , briket için 28.17 ± 0.88 ve ısıl değerler 4166.67 ± 4.33 (odun) - 6552.00 ± 4.73 (kömür) kcal.kg⁻¹ aralığında belirlenmiştir. Farklı yakıtların yanması sonucu elde edilen ısıl değerler arasında önemli farklılıklar tespit edilmiş olup yanma zamanı briketler için 11.43 ± 0.43 dakika, kömür için 14.94 ± 0.22 dakika ve odun için 9.25 ± 0.42 dakika olarak ölçülmüştür. Ayrıca her bir yakıt için belirlenen yanma verimi, tutuşma ve suyu kaynatma sıcaklıklarında arasında önemli farklılıklar belirlenmiştir.

Rajkumar ve Venkatachalam (2013) pamuk sapı, soya fasulyesi sapı ve bezelye sapı tarımsal artıklarından elde edilen briketlerin fiziksel özellikleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Briketleme işlemi için 100 MPa sıkıştırma basıncı kuvvetine sahip piston presli tip bir briketleme makinesi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tarımsal artıkların her birinden ve karışımlarından briketler üretilmiştir. Briketlerin, kırılma direnci, düşme dayanıklılık direnci ve özgül kütle gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Briketlerin fiziksel özellikleri, kullanılan atığın yüzdesine ve tipine göre sınıflandırılmıştır. Pamuk sapı (%100) ve pamuk+soya fasulyesi sapı karışımından (%75+%25) üretilen briketlerin özellikleri daha iyi belirlenmiştir, çünkü daha yüksek briket yoğunluğuna ($1.53-1.54$ g.cm⁻³) ve daha yüksek kırılma ve düşme dayanıklılık direncine (%99.56) sahip oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca, bu briketlerde en iyi yanma koşulları sağlanmıştır.

Bazargan ve diğ. (2014), palmye yağı üretimi sonucu büyük miktarlarda biyokütle açığa çıkmaktadır. Bu çalışmada büyük miktarlarda açığa çıkan bu artıktan briket ve pelet kömürü üretilmiş ve yüksek ısıl değere sahip bu ürünler üzerinde nem içeriği, sıkıştırma basıncı, parçacık boyutu, sıkışma süresi ve yapıştırıcı katkı maddesi etkileri araştırılmıştır. Tüm örnekler, farklı nem içeriklerinde 80 MPa basınçta sıkıştırılmış ve 10 saniye süreyle bu kuvvet altında bekletilmiştir. Yapılan testler sonucunda, nişastanın katkı maddesi olarak kullanıldığı briketlerin fiziksel özelliklerinin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Katkı maddesi miktarı attıkça kırılma

kuvveti değeri 40 kN.m⁻²'den 800 kN.m⁻²'e çıkmıştır. Ayrıca, depolama sırasında materyalin nem içeriğinde buharlaşma miktarı arttıkça nişasta katkılı briketlerin kırılma kuvvetlerinde artışlara sebep olmuştur.

Davies ve Davies (2014), yaptığı çalışmada, farklı tarımsal artık karışımları kullanarak su nilüferi bitkisinden elde ettikleri briketlerin fiziksel özelliklerini belirlemişlerdir. Çalışmada üretilen briketlerde tarımsal artık olarak 2 farklı çeşit muz kabuğu, manyok ve patates kabukları kullanılmıştır. Briketlerin üretiminde kullanılacak bu materyaller öncelikle güneşin altında kurutulmuş ve daha sonra çekiçli değirmen kullanılarak 0.075 mm parçacık boyutunda öğütülmüşlerdir. Su nilüferleri ise 3 mm'den daha küçük parçacık boyutlarında öğütülmüşlerdir. Karışımlar %10, 20, 30, 40 ve 50 olmak üzere 5 farklı şekilde yapılmıştır. Briketlerin üretiminde hidrolik tip bir pres kullanılmış ve 4.7 cm çapında ve 14.3 cm uzunluğundaki briketler 9 MPa basınç altında 45 saniye sıkıştırma sürecinde üretilmiştir. Yapılan varyans analizi sonuçlarında farklı karışımlardan elde edilen briketler arasında önemli farklılıklar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda en yüksek fiziksel ve mekanik dayanıklılık, su nilüferi ve manyok kabuğu tarımsal artıkkarışımlarından üretilen briketlerde tespit edilmiştir.

Moses ve Augustina (2014) yılında yaptıkları çalışmada, 10 MPa sıkıştırma basıncı altında farklı yapıştırıcı oranlarında muz kabuğu, marul, patates kabuğu ve manyok kabuğunu sıkıştırmışlardır. Her bir materyal için %10, 20, 30, 40 ve 50 seviyelerinde yapıştırıcı malzeme kullanılmıştır. 17 mm uzunluğunda ve 6 mm çapta bir silindire sahip hidrolik pres kullanılarak briket üretimi gerçekleştirilmiştir. Briketlerin fiziksel özellikleri ASAE standartları kullanılarak belirlenmiştir. Hidrolik tip briketleme makinesi ile sıkıştırma öncesinde belirlenen materyallerin farklı yapıştırma oranlarındaki materyal hacim ağırlıkları; marul için 142.39 kg.m⁻³, patates kabuğu için 221.26 kg.m⁻³, manyok kabuğu için 208.30 kg.m⁻³ ve muz kabuğu için 243.54 kg.m⁻³ olarak belirlenmiştir. Yapıştırıcı malzeme oranı arttıkça briketlerin üretiminden 30 gün sonraki briket hacim ağırlıkları da artmıştır. Aynı zamanda briketlerin sıkıştırma hacim ağırlıkları farklı yapıştırıcı malzeme oranlarında önemli bulunmuştur. Sıkıştırma basıncı ve yapıştırıcı malzeme oranı arttıkça su alma direnci, kırılma direnci, sıkıştırma oranı ve briketlerin sağlamlıklarının arttığını belirlenmiştir.

Sun ve diğ. (2014) Çin’de üretimi yapılan linyit kömürüne ait briketleme parametrelerini belirleyerek, bu parametreleri bir briketleme makinesi tasarımında kullanmışlardır. Çalışmada, sıkıştırma basıncı, sıkıştırma sıcaklığı, kömür özellikleri, briketlerin kırılma kuvveti tespit edilmiştir. Briketlerin kırılma denemeleri laboratuvar ölçekli bir test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 7 farklı nem içeriğinde (%7.10, 10.7, 12.88, 14.85, 18.58, 22.05, 26.05) ve 20 mm çap ve yükseklikte briketler elde edilmiştir. Denemeler sonucunda, sıkıştırma basıncının artmasıyla briketlerin kırılma kuvveti dirençlerinin arttığı belirlenmiştir. En uygun sıkıştırma basıncı 150°C’de ve %14-16 nem içeriği değerlerinde elde edilmiştir. Sıkıştırma basıncı aynı zamanda <125 µm parçacık boyutlarında artmış olup sıkıştırma sıcaklığının artmasıyla birlikte sıkıştırma basınçlarının azalmasını sağlamıştır.

Zhang ve Guo (2014), yaptıkları çalışmada, farklı nem içeriklerinde (%5, 8, 11, 14, 17), farklı sıkıştırma basınçlarında (10, 50, 90, 130, 170 MPa) ve farklı sıkıştırma sıcaklıklarında (70, 90, 110, 130, 150°C) yapıştırıcı katkı maddesi kullanılmadan briketler elde etmiştir. Briketler için hidrolik tip bir pres kullanılmıştır. Elde edilen briketlerin fiziksel özellikleri (hacim ağırlığı, düşme dayanıklılık, sıkıştırma kuvveti ve kırılma direnci) üzerinde sıkıştırma basıncı, sıkıştırma sıcaklığı, nem içeriği ve parçacık boyutunun etkisini araştırmışlardır. Çalışmada istatistiksel değerlendirme sonucunda parçacık boyutunun briketin nem içeriği ve sıkıştırma sıcaklığı üzerinde etkili faktör olduğunu belirlemişlerdir. İyi ve kaliteli briketler, yüksek sıkıştırma sıcaklığı, düşük nem içeriği ve küçük parçacık boyutunda elde edilmiştir. Ayrıca sıkıştırma basıncının, iyi ve kaliteli briketler için önemli bir diğer faktör olduğunu belirtmişlerdir.

Bilgin (2015) yılında yaptığı çalışmada, her yıl yoğun olarak seralarda yetiştiriciliği yapılan biber bitkisi artıklarını kullanarak briketler elde etmiştir. Maksimum sıkıştırma basıncı 210 MPa olan hidrolik tip bir pres kullanılmıştır. Briketlere fiziksel testler uygulanarak briket kalitesi ortaya konulmuştur. Briket denemeleri yaş bazda %7.06 nem içeriğinde, ortalama parçacık boyutu 0.732 mm olan biber artıkları kullanılarak 115, 150 ve 185 MPa sıkıştırma basınçları altında yürütülmüştür. Briketleme işlemi sonucunda 61.6 mm çapında briketler elde edilmiştir. Testler öncesi briketler 20°C oda sıcaklığında, %50 hava nemi altında 7 gün bekletilmiştir. Briketlerin hacim ağırlığı, kırılma direnci, düşme-dayanıklılık direnci, su alma direnci ve hava nemi alma dirençleri belirlenmiştir. Fiziksel testler sonucunda

yüksek kaliteli briketler elde edilmiştir. En iyi briketler 185 MPa sıkıştırma basıncı altında elde edilmiş olup; hacim ağırlığı 1075 kg.m^{-3} , %98.21 kırılma direnci ve %90.83 düşme-dayanıklılık direnci olarak belirlenmiştir. Ayrıca ortam nemi tüm briketler için sınır seviyede olup suya daldırılan tüm briketler ise 30 saniyeden kısa bir süre önce tamamen parçalanmışlardır.

Chen ve diğ. (2015) artıklardan elde edilen biyokütlenin, mekanik bir kuvvetle sıkıştırma işlemi sonucunda katı parçacıkların boyut ve şekline bağlı olarak elde edilen ürünlerin pelet ve briket olarak adlandırıldığını belirtmişlerdir. Biyokütlenin sıkıştırılarak başlangıçtaki materyal yoğunluğu değeri $40\text{-}200 \text{ kg.m}^{-3}$ arasında değişirken sıkıştırıldıktan sonra elde edilen ürünlerin hacim ağırlıkları $600\text{-}1400 \text{ kg.m}^{-3}$ değerlerine çıkartılmaktadır. Böylece depolama ve taşıma maliyetleri azaltılabilmektedir.

Coşereanu ve diğ. (2015), çalışmasında biyokütle kaynağı olarak mısır koçanı, mısır sapı, geyik boynuzu ağacı dalı, elma ağacı budama artıkları, üzüm bağı budama artıkları ve kozalak kullanılarak laboratuvar koşullarında briketler elde etmiştir. Briket kalitesini belirlemek amacıyla hacim ağırlığı, ısıl değer ve sıkıştırma kuvvetlerinin etkileri laboratuvar koşullarında karşılaştırılmıştır. Her bir tarımsal artıkiçin 40 mm çapında ve uzunlukları 38 ile 41 mm arasında değişen briketler üretilmiştir. Mısır koçanı, mısır sapı, geyik boynuzu ağacı dalı, elma ağacı budama artıkları, üzüm bağı budama artıkları ve kozalak için sırasıyla nem içerikleri; %4.88, %6.02, %7.13, %18.5, %9.6 ve %9.8, briket yoğunluğu sırasıyla; 835.80, 811, 950.60, 831, 910.40 ve 967 kg.m^{-3} , ısıl değerleri sırasıyla; 16964, 20198, 17354, 17294, 18879 ve 21924 J.kg^{-1} olarak belirlenmiştir. Briket yoğunluğu arttıkça sıkıştırma direnci ve hacimsel ısıl değerlerinde artış olduğunu belirlemişlerdir.

Davies (2015) yaptığı çalışmada, beyaz afara talaşı ile bazı organik yapıştırıcı özelliğe sahip materyalleri her bir ürün için %10, 20, 30,40 ve 50 farklı oranlarda kullanarak 15 MPa sıkıştırma basıncı altında briketler elde etmiştir. Elde edilen briketlerin bazı fiziksel ve mekanik karakteristikleri belirlenmiş olup bu değerler; materyal yoğunluğu, briket yoğunluğu, sıkıştırma oranı, 30 gün sonundaki briket yoğunluğu, sıkıştırma kuvveti, briket dinlenme oranı ve kırılma direncidir. Belirlenen karakteristiklere göre en iyi briketler, organik yapıştırıcı olarak manyok kabuğu kullanılan briketlerde elde edilmiştir.

Fournel ve diğ. (2015), büyük tarımsal işletmelerde artan enerji ihtiyacını karşılamak için tarımsal işlemlerden sonra açığa çıkan biyokütle artıklarının enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi gerektiğini ve bunun için, yakma işlemleri hakkında daha çok bilgiye ihtiyaç olduğunu bildirmişlerdir. Halen yakıt kalitesi ve yanma ile ilgili emisyon değerlerinin belirsizliği tarımda biyokütlenin sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını engellemektedir. Bu çalışmada, biyokütlenin fiziko-kimyasal özellikleri; karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroksit (N₂O), nitrojen monoksit (NO), nitrojen dioksit (NO₂), amonyak (NH₃), sülfür dioksit (SO₂) ve hidrojen klorür (HCl) ve farklı tarımsal ürünlerin partikül emisyon değerleri belirlenmiştir. Çalışma 4 farklı biyokütle (söğüt, miskantus, darı ve kamış) ve farklı biyokütle şekillerinde (pelet yonga ve doğranmış ot) hasat zamanında gerçekleştirilmiştir. 29 kW güce sahip bir kazanda yakılan ürünlerin yanma verimleri, yakıtın kül içeriği ve içeriye giren hava miktarına bağlı olarak %63-75 arasında değişmiştir. Yakma boyunca söğütten elde edilen emisyon değerleri CO (%57-94), NO_x (%64-74), SO₂ (%11-54) ve PM (%0-37) diğer üç biyoyakıtın emisyon değerlerinden daha düşük olarak tespit edilmiştir. Yüksek nem içeriği yüksek emisyon değerlerine sebep olmuştur.

Križan ve diğ. (2015) Slovakya’da çam talaşı biyokütle artıklarını kullanarak, briket kalitesi üzerinde etkili olan parametreleri araştırmışlar ve bu parametrelerin briketleme makinelerinin tasarımı için kullanılabileceğini belirlemişlerdir. Çalışmada farklı sıkıştırma basınçlarında (95-159 MPa, 63-191 MPa), farklı parçacık boyutlarında (1-4 mm, 0.5-4 mm), farklı nem içeriklerinde (%8-12, %5-15) ve farklı sıkıştırma sıcaklıklarında (85-115°C, 55-130°C) briketler elde edilmiştir. 95 MPa sıkıştırma basıncı ve 85-115°C sıkıştırma sıcaklığı ve 1-4 mm parçacık boyutunda elde edilen briketlerin hacim ağırlıkları 0.9378-1.1797 kg.dm⁻³ arasında değişmiştir. 159 MPa sıkıştırma basıncı, 85-115°C sıkıştırma sıcaklığı, 1-4 mm parçacık boyutunda %8-12 nem içeriğinde briket hacim ağırlıkları 1.0604-1.225 kg.dm⁻³ olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada briket kalitesine en önemli faktörün briket yoğunluğu olduğu belirtilmiş ve bahsedilen sonuçlar arasında sıkıştırma basıncının %67.4 oranında arttırılmasına rağmen çok büyük bir farkın olmadığını tespit etmişlerdir. Bu yüzden, sıkıştırma sıcaklığının arttırılarak bitkisel materyaller içinde doğal yapıştırıcı özelliğe sahip ligninin açığa çıkarılması, briket hacim ağırlığının düşük sıkıştırma basınçlarında bile yüksek hacim ağırlığına sahip olmasını ve sağlam

briketler elde edilmesini sağlayacağını ve bu durumunda briketleme maliyetlerini azaltacağını belirtmişlerdir.

Mohammed ve Olugbade (2015a), briketlerin seçiminde, yakıt özelliklerinin çok önemli olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada, farklı oranlarda manyok kökü nişastası kullanılarak çeltik kavuzu ve palmiye çekirdeği kabuğundan elde edilen briketlerin özellikleri araştırılmıştır. Artıklar %80 çalışma verimine sahip manuel olarak kontrol edilen bir briketleme makinesi kullanılarak sıkıştırılmıştır. Çalışma sonucunda, %18.97 nem içeriğinde, %64.54 uçucu madde, %14.16 kül içeriği, %21.30 sabit karbon değeri ve briket yoğunluğu 524 kg.m^{-3} olarak belirlenmiştir. Briketlerin elemental analiz sonuçları ise sırasıyla %45.67 C, %5.80 H, %0.05 SO_2 , %1.78 N ve %46.70 O_2 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, briketlerin ısı değeri 14.25 MJ.kg^{-1} ve kırılma kuvveti 1.08 kN.m^{-2} olarak ölçülmüştür.

Mohammed ve Olugbade (2015b), yanma hızının, sabit bir yakıt kütlesinin hava ile yakılması sonucu elde edilen bir değer olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada, palmiye çekirdeği kabuğu ve çeltik kavuzu karışımlarından yakıt briketleri üretilmiştir. Bu çalışma, briketlerin yanma hızı üzerinde farklı oranlarda kullanılan katkı maddesinin, parçacık boyutunun ve sıkıştırma basıncının etkisini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Çeltik kavuzu ve palmiye çekirdeği kabuğu briketleri 2, 4 ve 6 mm parçacık boyutu, ağırlıkça %10, 20, 30, 40, 50 katkı oranlarında manyok kökü nişastası kullanılarak 3, 5, 7 ve 9 MPa sıkıştırma basıncı kuvvetlerinde üretilmişlerdir. Çalışma sonucunda, yanma hızı üzerinde katkı maddesi oranı, parçacık boyutu ve sıkıştırma basıncının etkili olduğu belirlenmiştir. Yanma hızı sonuçları %10, 20, 30, 40 ve 50 katkı oranlarında sırasıyla; 2.3, 2.0, 1.9, 1.7 ve 1.6 g.dk^{-1} olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, sıkıştırma basıncı ile katkı maddesi oranının artmasıyla ve parçacık boyutunun azalması, briketlerin yanma hızında azalmalara sebep olduğu belirlenmiştir.

Murali ve diğ. (2015), çalışmalarında modifiye edilmiş bir odun sobasında talaş, şeker kamışı ve hindistan cevizi kabuğu artıklarından elde ettikleri briketleri yakarak, yanma performanslarını ve ısı değerlerini belirlemişlerdir. Hazırlanan briketler öncelikle güneşin altında kurutulmuş ve herhangi bir yapıştırıcı malzeme kullanılmamıştır. Yanma özellikleri ile ilgili olarak briketlerin; uçucu madde, ısı değeri, sabit karbon ve kül içeriği değerleri belirlenmiştir. Modifiye edilen bu sobada, üç farklı briket kullanılarak su kaynatılmış ve yemek pişirilmiştir. Test sonuçlarına

göre Hindistan cevizi kabuğu, talaş ve şeker kamışından elde edilen briketlerin ısı değerleri sırasıyla 23.98, 20.37 ve 18.89 MJ.kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. En yüksek kül içeriği değeri talaş briketlerinde %28.13 ve en düşük kül içeriği değeri ise %1.8 ile şeker kamışı briketlerinde elde edilmiştir. Briketlerin yanma verimleri ise hindistan cevizi kabuğu için %%63.63, talaş briketleri için %61.62 ve şeker kamışı briketleri için %53.85'tir. Çalışmanın sonucunda modifiye edilen bu soba için en uygun katı biyo yakıtın hindistan cevizi kabuğundan elde edilen briketler olduğu belirlenmiştir.

Oladeji (2015), çalışmasında, kullanılan artıkların özelliklerine bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynağı olarak briketlere dönüştürülebileceğini ve en uygun nem içeriği ve parçacık boyutu hakkında bilgiler vermiştir. Çalışmanın sonucunda, biyokütleden üretilen briketler için en iyi sonuçların 2-8 mm parçacık boyutu aralığında tespit edilebileceğinin ve parçacık boyutunun 1 mm'den daha az olması durumunda helezon tip presler için uygun olmadığını belirtmişlerdir. Farklı parçacık boyutlarında elde edilen briketlerin paketlenme koşullarını etkileyeceği ve aynı zamanda yüksek statik kuvvetler sağlayacağını vurgulamışlardır. %10-15 nem aralığında üretilen briketlerin sağlam ve pürüzsüz olacağını, katkı maddeleri kullanarak ısı değerlerinin yükseltilebileceğini ve ön ısıtmanın briketler için sağlamlık değerlerini arttıracığını bildirmişlerdir.

Olugbade ve Mohammed (2015) Nijerya'da büyük miktarlarda yetiştiriciliği yapılan çeltik bitkisinden geriye kalan kavuzların büyük bir enerji kaynağı oluşturduğunu belirtmişler ve bu artıkların briketlenmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada farklı oranlarda katkı maddesi (hurma çekirdeği kabuğu) ve yapıştırıcı olarak manyok nişastası kullanılmıştır. Elde edilen briketler hidrolik pres kullanılarak sıkıştırılmıştır. Briketler için en iyi sıkıştırma basıncı 3.5 MPa olarak tespit edilmiş ve bu sıkıştırma basıncındaki briket yoğunluğu 524 kg.m⁻³, en yüksek ısı değer 14.25 MJ.kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, ısı değeri artışı, hurma çekirdeği kabuğu parçacık boyutunun azalması ile artmış, maksimum ısı değeri ise 3:7 oranında hurma çekirdeği kabuğu ve çeltik kavuzundaki briketlerden elde edilmiştir.

Shuma ve diğ. (2015), Güney Afrika'da her yıl önemli miktarlarda biyokütle atığı ortaya çıkmaktadır. Çalışmalarında, Güney Afrika'nın güney bölgesinde bulunan Limpopo bölgesinden artık olarak toplanan biyokütlenin, ısı değerleri ve yanma davranışları araştırılmıştır. Çalışma için orman ve tarımsal artıklardan oluşan 12 farklı

biyokütle belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda briketlenen materyal üzerinde birçok faktörün etkili olduğu ve bunlardan en önemlilerinin briketleme yöntemi, materyal enerji içeriği ve yanma davranışları olduğu belirlenmiştir. Okalıptüs talaşı (19.97 MJ.kg^{-1}) ve yerfıstığı kabuğunun (20.31 MJ.kg^{-1}) ısı değeri en yüksek çıkmıştır. Okalıptüs talaşı için materyal yoğunluğu 0.018 kg.m^{-3} , nem içeriği %3.3, yer fıstığı kabuğu için ise materyal yoğunluğu 0.977 kg.m^{-3} , nem içeriği %6.9 olarak belirlenmiştir.

Voicea ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmalarında 1.6 mm parçacık boyutunda Miscanthus bitkisi artıklarını, maksimum sıkıştırma basıncı 100 kN olan bilgisayar kontrollü bir pres kullanarak sıkıştırmışlardır. Briketleme makinesinde sıkıştırılacak olan toz halindeki Miscanthus bitkisine ait materyal yoğunluğu 132.69 kg.m^{-3} olup Miscanthus bitkisinin sap ve yaprakları parçalama öncesinde ayrılmıştır. Briketlenecek materyal briketleme öncesinde %10 nem seviyesine ve 15°C 'ye getirilmiştir. Briketleme testi esnasında briketleme kuvveti, briketleme hızı, materyal parçacık akışı ve nem seviyesi, briketleme kuvveti 40 ve 90 kN arasında sürekli değişmiştir. Piston ilerleme hızı $1-6 \text{ mm.s}^{-1}$ arasında değişmiş olup, piston sıkıştırma kuvveti ve ilerleme hızı işlem süresi boyunca bu iki parametre kullanılarak değiştirilmiştir. Sıkıştırma işlemi boyunca birçok parametre kontrol altında tutulmuş (sıkıştırma sıcaklığı, yağlama sistemi vb.) her bir parametrenin etkisi işlem boyunca gözlemlenmiştir. Elde edilen briket kalitesi ile ilgili olarak belirlenen parametreler uzunluk, yükseklik, hacim ağırlığı, shore sertliği ve zaman kayıpları olmuştur. Miscanthus briketleri için ana etkili parametrelerin basınç kuvveti, hacim ağırlığı ve shore sertliği olduğunu tespit etmişler ve bir model oluşturmuşlardır.

Vyas ve diğ. (2015), 8 farklı tip ham materyal kullanarak briketler elde etmiş ve bu briketlerin fiziko kimyasal özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen briketlerin eşdeğer nem içeriği ve bağıl nemi gibi bazı özelliklerinin briketlerin depolanmasında ve yanmasında etkili olduğu belirlenmiştir. Eşdeğer nem içeriği, %40-90 arasında bağıl nem içeriğinde farklı konsantrasyonlara sahip sulu gliserol solüsyonları kullanılarak, $25-37^{\circ}\text{C}$ ortam sıcaklığında statik denge tekniği ile belirlenmiştir. Briketlerin eşdeğer nem içeriğinin, ham materyal halindeyken, %40-70 bağıl nemde %1-2.5 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. %70'in üstünde olan bağıl nemde ise bu değer %2-4 arasında değişmiştir. Tüm bağıl nem değerlerinde briketlerin şekillerinde herhangi bir değişim olmamıştır. Bu durum briketlerin daha yüksek yoğunluğa sahip

olmalarını sağlamıştır. Çalışma sonucunda ham materyal ile karşılaştırıldıklarında, elde edilen briketlerin, yüksek nem içeriklerinde depolanmasında herhangi bir problem oluşturmayaacağı belirlenmiştir.

Wang ve diğ. (2015), yaptıkları çalışmada dört farklı biyokütle atığı kullanarak (talaş, mısır koçanı, fıstık kabuğu, yaprak) elde ettiği briketler üzerinde nem içeriği, briketlerin sıkıştırma hızı, parçacık boyutu ve materyalin kalıp içerisinde sıkıştırılma süresinin etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, $0.05-500 \text{ mm.dk}^{-1}$ çalışma hızına sahip ve 0-50 kN basma kuvveti sağlayabilen bilgisayar kontrollü bir test cihazı kullanılmıştır. Her bir materyal için nem içeriği %8, 14, 16, 18 olarak belirlenmiş ve briketlerin kalıp içerisinde bekletilme süreleri 1, 10 ve 15 dakika olarak ayarlanmıştır. Denemelerde kullanılan materyallerden farklı nem içeriklerinde, farklı sıkıştırma hızlarında ve farklı kalıp bekletme sürelerinde briketler elde edilmiştir. Denemelerin sonucunda sıkıştırma hızının çok fazla bir etkisinin olmadığı, fakat yüksek nem içeriğindeki materyallerin kalıp içerisinde daha fazla bir genleşmeye sahip olduğu belirlenmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

3.1.1 Kullanılan tarımsal artıklar ve özellikleri

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Atölyesi, Samsun Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Enerji Tarımı Araştırma Merkezi Laboratuvarları ve Katı Biyoyakıt Analiz Laboratuvarında yürütülmüştür. Çalışmada, öncelikle briketlenecek materyal olarak, Karadeniz Bölgesinde yoğun olarak tarımı yapılan ve tarımsal faaliyetler sonucu açığa çıkan fındık zurufu, mısır sapı ve ayçiçeği sapı tarımsal artıkları kullanılmıştır. (Şekil 3.1.). Elde edilen ürünler sıkıştırılarak briket haline getirilmiş olup, briketleme işlemi yapılacak materyaller için herhangi bir yapıştırıcı madde kullanılmamıştır.



Şekil 3.1. Tarımsal artık resimleri

Briketleme, basit bir işlem olmayıp, birçok faktörü içeren karmaşık bir işlem sürecidir. Bu nedenle, işleme başlamadan önce, briketlenmesi amaçlanan materyallerin iyi tanınması gerekmektedir.

3.1.1.1 Fındık zurufu tarımsal artığı

Fındık, bademden sonra dünyada en yaygın yetiştiriciliği yapılan sert kabuklu meyvedir. Fındığın dünya ve Türkiye’deki durumu incelendiğinde, Türkiye 2013 yılı istatistiklerine göre 422501 ha alanda 549000 ton üretimle dünyada fındık üretiminin %63.93’ünü karşılamakta ve bu durumuyula da dünya fındık üretiminde lider konumda yer almaktadır. Türkiye dışında, İtalya, ABD ve İspanya başlıca fındık üretimi yapan diğer 3 ülkedir (FAO, 2013).

Kabuklu fındık tanesinin kavuzdan ayrılması ile geriye kalan kısmına fındık zurufu denilmektedir. Bu kısım genelde değerlendirilmeyip tarımsal bir artık olarak bahçelerde kalmakta veya gelişigüzel yakılarak imha edilmektedir (Şekil 3.2). Fındık yetiştiriciliğinde hasat sonunda 1 kg yaş fındıktan yaklaşık 1/3 oranında kuru kabuklu fındık elde edildiği ve 1/5 oranında da kuru zuruf açığa çıkmaktadır (Çıtak ve diğ., 2006). Ülkemizde de üretilen fındık miktarı dikkate alındığında, yıllık yaklaşık olarak 200 bin ton fındık zurufu atığı açığa çıktığı tahmin edilmektedir. Fındık zurufu bakımından ülkemizde bu kadar çok artık potansiyelinin bulunması, bu artığın bir şekilde değerlendirilmesini kaçınılmaz hale getirmiştir. Fındık bitkisinin Karadeniz Bölgesinde yoğun bir şekilde yetiştirilmesi ve buna bağlı olarak ortaya çıkacak artık miktarı düşünüldüğünde, bu artıkların bir şekilde değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması öncelikle gerekmektedir. Çizelge 3.1’de bölgelere göre fındık üretim alanları ve üretim miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bölgelere göre fındık üretim alanları ve üretim miktarları (TÜİK, 2014)

Bölgeler	Alan (ha)	(%)	Üretim (ton)	(%)
İstanbul	2185.6	0.31	985	0.24
Batı Marmara	84.6	0.01	234	0.06
Doğu Marmara	144466.7	20.60	149.633	36.32
Akdeniz	67.7	0.01	430	0.10
Ortadoğu Anadolu	400	0.06	380	0.09
Orta Anadolu	2.9	0.00	17	0.00
Batı Karadeniz	131084.3	18.70	107.670	26.13
Doğu Karadeniz	422845	60.31	152.612	37.04
Ege	4.5	0.00	39	0.01
Toplam	701141.3		412000	



Şekil 3.2. Fındık bitkisi artık resimleri

Bu çalışmada materyal olarak kullanılan fındık zurufu atığı, Samsun ili Çarşamba ve Terme ilçelerinde yetiştiriciliği yapılan fındık bahçelerinden temin edilmiştir. Elde edilen fındık zurufu tarımsal atığı ağırlıklı olarak çakıldak, yomra ve palaz fındık çeşitlerinden oluşmaktadır.

3.1.1.2 Mısır sapı tarımsal artığı

Ülkemiz önemli bir mısır üreticisidir. Diğer tahıllarda olduğu gibi, hemen her ilde mısır tarımı yapılmaktadır. Tahıllar içinde ilk sırayı buğday almakla birlikte, özellikle bazı bölgelerimizde (Karadeniz Bölgesi) mısır ekmeği de yaygın olarak tüketilmektedir. Doğal yetiştirme alanı durumundaki Karadeniz Bölgesi'nin kıyı illerinde mısır tarımı yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Karadeniz Bölgesinde 115249 ha'lık alanda mısır üretimi yapılmakta olup, 1971876 ton ürün alınmaktadır. Bölgemizde sadece Samsun'da 35350 ha'lık alanda 767754 ton mısır üretimi yapılmaktadır. Bölgemiz üretiminin %39'u Samsun'da yapılmaktadır.

Mısır bitkisinden iki şekilde yararlanılmaktadır. Bunlar tanesi ve otsu gövdesidir (Şekil 3.3). Mısırın taneleri insan beslenmesinde doğrudan kullanıldığı gibi (ekmek yapımı ve çerezlik olarak); yemeklik sıvı yağ, nişasta, glikoz ve yem sanayiinde de değerlendirilmektedir. Otsu gövdesi hayvan yemi olarak değerlendirilebilmekte fakat mısır bitkisinin hasat ve harmanlama işleminden sonra geriye kalan sap ve koçan artıkları tarlada ya çürümeye bırakılmakta ya da yakılmaktadır. Bu durum, çevre açısından büyük bir kirliliğe ve toprak yapısının bozulmasına neden olmaktadır. Bu bakımdan mısır hasadından sonra tarlada terk edilen mısır sapsarı ve koçanlarını yenilenebilir enerji kaynağı olarak tekrar ekonomimize kazandırılması önem

taşımaktadır. Çizelge 3.2’de bölgelere göre mısır bitkisi üretim alanları ve üretim miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.2. Bölgelere göre mısır bitkisi üretim alanları ve üretim miktarları(TUİK, 2014)

Bölgeler	Alan (ha)	%	Üretim (ton)	%
Kuzeydoğu Anadolu	14758.4	1.37	504.455	2.04
Ortadoğu Anadolu	7106.7	0.66	277.885	1.12
Güneydoğu Anadolu	196559.4	18.31	2.380.674	9.61
Batı Anadolu	86912.1	8.10	2.273.953	9.18
Orta Anadolu	27284	2.54	1.259.514	5.09
İstanbul	1197.7	0.11	38298	0.15
Batı Marmara	78110	7.28	3.086.679	12.46
Doğu Marmara	116639.7	10.86	3.073.708	12.41
Akdeniz	234431.5	21.84	3.499.699	14.13
Ege	195349.1	18.20	6.398.294	25.84
Batı Karadeniz	91767.2	8.55	1.877.284	7.58
Doğu Karadeniz	23482.1	2.19	94.592	0.38
Toplam	1073597.9		24.765.035	



Şekil 3.3. Mısır bitkisi artık resimleri

Materyal olarak kullanılan mısır sapı atığı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanlarından temin edilmiştir. Elde edilen mısır sapı tarımsal artıkları, farklı bölgelerden toplanarak ıslah çalışmasında kullanılan ve farklı genotiplere sahip mısır bitkilerinden oluşmaktadır.

3.1.1.3 Ayçiçeği sapı tarımsal artığı

Ayçiçeği dünyada ve ülkemizde en önemli yağ bitkilerinden biri olup, ülkemizde çoğunlukla yağlık olarak yetiştirilir. Dünya ayçiçeği üretimi 2013 yılı itibarıyla 44.5 milyon ton olup, Türkiye üretimi 1.5 milyon tondur (FAO, 2013). Ülkemizde ayçiçeğinin en yoğun üretildiği yer Marmara bölgesidir. Bu bölge içinde de Trakya’da en fazla üretim yapılmaktadır. Ayçiçeği bitkisinin sapının enerji değeri ortalama 15.62 MJ.kg⁻¹ dolayındadır. Baş kısımlarının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmaların yeterli olmadığı görülmektedir. Ancak bu artıkların toplanması, depolanması ve kullanılabilen şekle getirilmesi v.b. sorunlar, yakacak olarak kullanılmasını büyük ölçüde engellemektedir.

Genellikle tarlalarda yakılan veya doğaya terk edilen bu bitki artıklarının değerlendirilmesi son yıllarda Avrupa ülkelerinde de önem kazanmıştır (Şekil 3.4). Ülkemizde yağlık bitkiler içerisinde büyük üretim potansiyeline sahip ayçiçeği sapının yakılarak enerjiye dönüştürülmesi ve ülke ekonomisine geri kazandırılması büyük önem taşımaktadır. Çizelge 3.3’de bölgelere göre ayçiçeği bitkisi üretim alanları ve üretim miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.3. Bölgelere göre ayçiçeği bitkisi üretim alanları ve üretim miktarları (TÜİK, 2014)

Bölgeler	Alan (ha)	%	Üretim (ton)	%
Kuzeydoğu Anadolu	2885	0.44	5.315	0.32
Ortadoğu Anadolu	4031.6	0.61	5.820	0.36
Güneydoğu Anadolu	4280.7	0.65	9.106	0.56
Batı Anadolu	99141.9	15.08	322.260	19.68
Orta Anadolu	56400.7	8.58	99.325	6.06
İstanbul	15172.1	2.31	34.424	2.10
Batı Marmara	296213.1	45.05	748.847	45.72
Doğu Marmara	32625.3	4.96	81.686	4.99
Akdeniz	49984	7.60	124.674	7.61
Ege	30843.9	4.69	66.139	4.04
Batı Karadeniz	65879.3	10.02	140.304	8.57
Toplam	657457.6		1.637.900	



Şekil 3.4. Ayçiçeği bitkisi artık resimleri

Materyal olarak kullanılan ayçiçeği sapı tarımsal artığı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanlarından temin edilmiştir. Elde edilen ayçiçeği sapı tarımsal artıkları deneme materyali olarak kullanılan ve sentetik hatlardan elde edilerek yetiştirilmiş ayçiçeği bitkisinden oluşmaktadır.

Di Blasi ve diğ. (1997) yılında yapmış oldukları çalışmada, mısır bitkisinin hasat işlemlerinden sonra tarlada sap olarak artık halinde bırakılan kuru biyokütle miktarının 0.91 ton.da^{-1} olarak belirlemişlerdir. Fındık bitkisinin hasat ve harman işlemlerinden sonra fındıktan yaklaşık $1/3$ oranında kuru kabuklu fındık elde edildiği ve $1/5$ oranında da kuru zuruf açığa çıkmaktadır (Çıtak ve diğ., 2006). Ayçiçeği bitkisinde ise üretim miktarının 2.8 katı kadar sap atığı açığa çıkmaktadır (Ünal ve Alibaş, 2002). Ülkemizde 2014 yılı üretim verileri dikkate alındığında, fındık zurufu, ayçiçeği ve mısır bitkileri için arazide geriye kalan artık miktarları dikkate alındığında hesaplanan kuru biyokütle miktarı ve ortalama ısı değerleri TEP cinsinden Çizelge 3.4’de verilmiştir. Artıkların ısı değerleri hesaplanırken $1 \text{ kcal}=1.10^{-7} \text{ TEP}$ ve ortalama ısı değeri ise $4000 \text{ kcal.kg}^{-1}$ olarak kabul edilmiştir (Kurt ve Koçer, 2010; Topal ve Topal, 2012).

Çizelge 3.4. Karadeniz bölgesinde yetiştirilen fındık, ayçiçeği ve mısır bitkilerine ait tahmini kuru biyokütle miktarı ve ısı değeri

Ürünler	Kuru biyokütle miktarı (ton)	Ortalama ısı değeri (BTEP)
Fındık zurufu	86760.66	34.70
Ayçiçeği sapı	392851.20	157.14
Mısır sapı	1048768.63	419.51

Çizelge 3.4’de hesaplanan değerler incelendiğinde, Karadeniz Bölgesinde yetiştiriciliği yapılan fındık, mısır ve ayçiçeği bitkilerinin hasat ve harman işlemlerinden sonra geriye kalan artık miktarlarından yaklaşık olarak toplam elde edilebilecek kuru biyokütle enerji potansiyeli değeri 611.35 BTEP olarak hesaplanmıştır.

3.1.2 Öğütme işlemi

Denemelerde fındık zurufu, mısır sapı ve ayçiçeği sapı öğütme işleminde, bıçakları sabit olarak monte edilmiş toplam 8 bıçaklı 3 kW gücünde 2850 d/d hızla dönebilen çekiçli tip bir değirmen kullanılmıştır (Şekil 3.5). Briketlenecek materyaller sırası ile bu çekiçli değirmen kullanılarak öğütme işlemi yapılmıştır (Şekil 3.6). Materyal öğütme işleminde sırası ile 3, 5, 8, 10, 12, 15, 18 ve 22 mm elek delik çapına sahip 8 farklı elek öğütme işlemi için kullanılmıştır. Briketlerde başarılı bir sıkıştırma yapılabilmesi için materyal yoğunluğu, nem içeriği ve parçacık boyutu çok önemlidir (Oladeji, 2010; Wachira ve diğ., 2015). Parçacık boyutuna bağlı olarak fındık zurufu, ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal artıkları 2 farklı parçacık boyutunda elde edilen tarımsal artıkların öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Öğütme işlemi için farklı eleklerde yapılan ön denemeler sonucunda, öğütülmüş materyaller elek analizine tabi tutulmuştur. Elde edilen elek analizi sonuçlarına göre istenilen boyutta materyaller, fındık zurufu ve ayçiçeği sapı tarımsal artıkları için 2-5 mm parçacık boyutlarında 8 mm delik çapına sahip elek ile 7-10 mm parçacık boyutlarında ise 15 mm delik çapına sahip değirmen elekleri kullanılarak elde edilmiştir. Mısır sapı tarımsal artığında ise 2-5 mm parçacık boyutları 10 mm delik çapına sahip elek ile ve 7-10 mm parçacık boyutları ise 18 mm delik çapına sahip değirmen elekleri ile elde edilmiştir.



Şekil 3.5. Zurufların farklı incelikte öğütülmesinde kullanılan çekiçli değirmen



Şekil 3.6. Tarımsal artıkların öğütülmesi

3.1.3 Briketleme makinesinin özellikleri

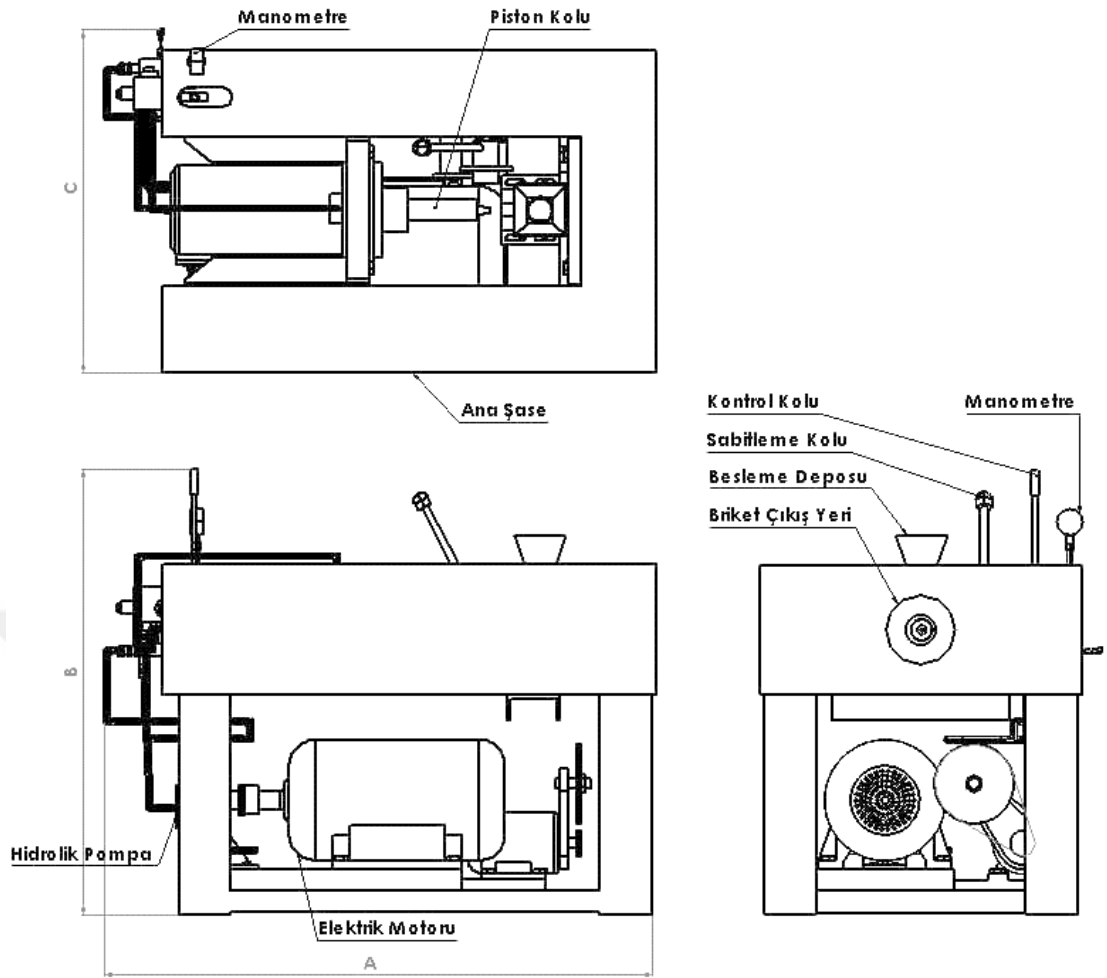
Materyallerin briketlenmesinde bölümümüz Öğretim Üyesi Prof. Dr. Mehmet Arif BEYHAN tarafından tasarlanıp, prototipi BEYKAR firması tarafından imal edilmiş hidrolik tip briketleme makinesi kullanılmıştır. Bu hidrolik tip briketleme makinesinde sıkıştırma basıncı değerleri 0-200 bar arasında ayarlanabilmektedir. Belirlenen çalışma basınçları, makine üzerinde manometre kullanılarak ayarlanmıştır. 1. basınç değeri için manometre üzerinde yağ basıncı değeri 50 bar olarak ayarlanmış ve bu değerde sıkıştırma işleminde kullanılan kalıbın materyale uyguladığı basınç değeri 80 MPa, 2. basınç değeri için manometre değeri 100 bar olarak ayarlanmış ve bu değerde materyale uygulanan basınç değeri 160 MPa olarak hesaplanmıştır.

Tasarımı yapılan hidrolik presde silindir ve piston yatay olarak yerleştirilerek sıkıştırma işlemi yapılmaktadır. Hidrolik tip briketleme makinesi $1.2 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ debiye sahip bir hidrolik pompa ve 25 litrelik hidrolik yağ deposuna sahiptir. Makinenin strok

mesafesi 310 mm, strok hızı 80 MPa sıkıştırma basıncı için 8 mm.s⁻¹ ve 160 MPa sıkıştırma basıncı için 10 mm.s⁻¹ olarak belirlenmiştir. Makine ölçüleri 1280x1155x740 (AxBxC) mm'dir. Makine üzerinde hidrolik pompanın çalışmasını ve durdurulmasını sağlayan start-stop düğmeleri bulunmaktadır. Briketleme makinesinde hidrolik pompa hareketini yıldız/üçgen bağlantılı, 15 kW gücünde üç fazlı elektrik motorundan almaktadır ve kalıp ısıtıcı kullanılmamıştır. Materyalin kalıp içerisinde sıkışma işlemini tamamlayabilmesi için briket çıkış ağzına ölçüleri 125x105 mm ve et kalınlığı 30 mm olan dikdörtgen bir plaka yerleştirilmiştir. Bu plaka hareketini 0.9 kW gücünde bir elektrik motorundan alarak aşağı ve yukarı doğru hareket edebilmektedir. Materyal briketleme işlemi tamamlandıktan sonra bu plaka aşağı doğru hareket ettirilerek materyal çıkış ağzı açılmakta ve briketler buradan dışarıya çıkartılmaktadır. Briketlerin kalıp içerisinden dışarı çıkarılması sırasında, kullanılan kalıbın ileri geri hareketini engellemek için bir sabitleme kolu yapılmıştır. Tarımsal artıkların briketlenmesi için kullanılan hidrolik tip briketleme makinesinin genel görünümü Şekil 3.7 ve ana elemanları Şekil 3.8'de verilmiştir.

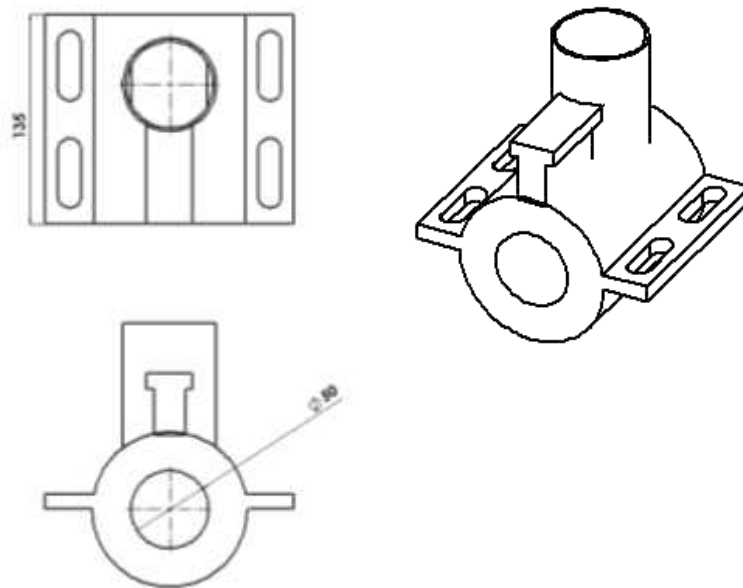


Şekil 3.7. Hidrolik tip briketleme makinesi



Şekil 3.8. Hidrolik tip briketleme makinesinin ana elemanları

Denemelerde, briketler içi dolu olarak elde edilmiştir. Silindirik kalıbın uzunluğu 135 mm, iç çapı 50 mm ve et kalınlığı 25 mm'dir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Artıkların briketlenmesinde kullanılan kalıp

3.1.4 Denemelerde kullanılan diğer cihazlar

Briketlerin düşme-dayanıklılık (Tumbler) dirençlerinin belirlenmesinde kullanılan düzeneğin elektrik motor gücü 0.75 kW, motor devri redüksiyonda 40 min⁻¹, briketlerin döndürüldüğü kafes 300x300x430 mm ölçülerinde ve kafesin üzerindeki tel örgünün aralığı 12 mm'dir. Test düzeneği, ASAE 294.4 standardına göre dizayn edilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Düşme-dayanıklılık test düzeneği

Briketlerin yakılması sonucu atmosfere bırakılan baca gazı emisyonlarının ölçülmesi için baca gazı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Baca gazı ölçüm cihazı; analizör ünitesi ve ölçüm probundan oluşmaktadır (Şekil 3.11). Baca gazı ölçüm cihazına ait teknik özellikler Çizelge 3.5'de görülmektedir.



Şekil 3.11. Baca gazı ölçüm cihazı ve parçaları

Çizelge 3.5. Baca gazı ölçüm cihazına ait teknik özellikleri

Parametre	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Prensibi
O ₂	0-21%	Elektrokimya
CO	0-4000 ppm	Elektrokimya
CO ₂	0- CO _{2max}	Hesaplama
NO ölçümü	0-5000 ppm	Elektrokimya
NO ₂ ölçümü	0-1000 ppm	Elektrokimya
SO ₂ ölçümü	0-5000 ppm	Elektrokimya
Gaz Sıcaklığı	0-500 °C	NiCr/Ni
Hava Sıcaklığı	0-99 °C	Yarı-iletken
Fark basınç	± 100 hPa	DMS köprüsü
CO%	4000-63000 ppm	Elektrokimya
Kayıplar	0-99.9%	Hesaplama
Verimlilik	0-120%	Hesaplama

Baca gazı emisyonlarının belirlenmesi için briketlerin yakılmasında evsel ısıtılarda kullanılan ve materyal yüklemeşi ön kısımdan olan şömine tipi soba kullanılmıştır (Şekil 3.12). Kullanılan şömine tipi sobanın özellikleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

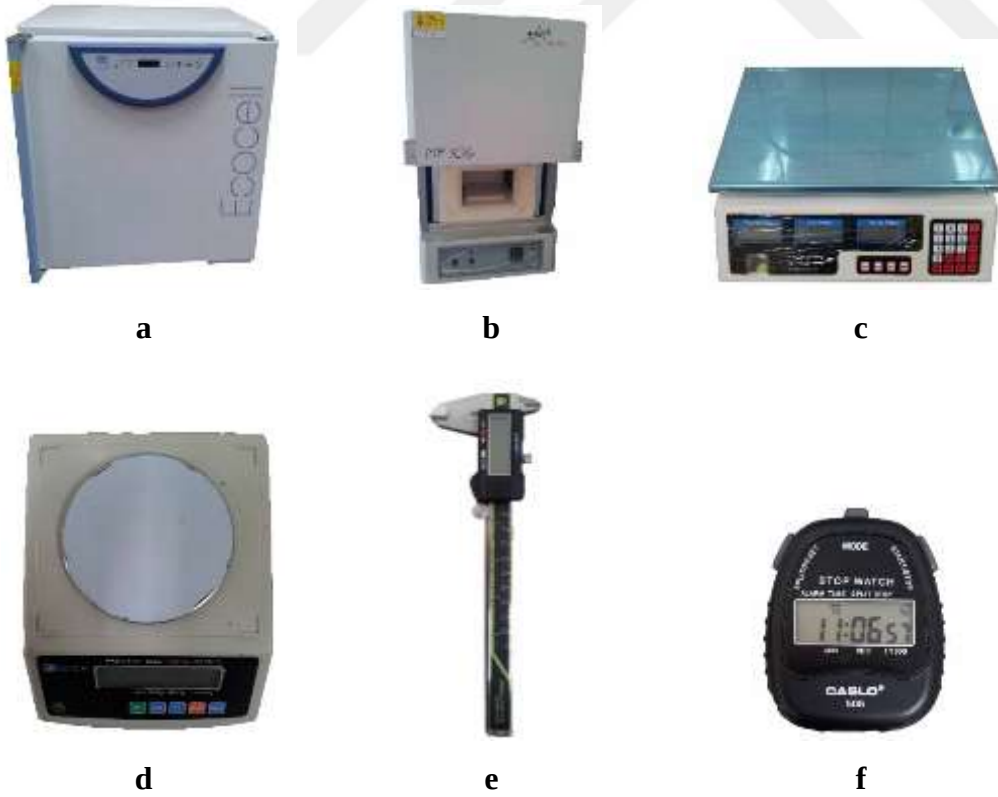
Çizelge 3.6. Emisyon ölçümlerinde kullanılan şömine tipi soba

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



Şekil 3.12. Briketlerin yakılmasında kullanılan şömine tipi soba

Denemelerde kullanılan bitkisel artıkların kül içeriklerinin belirlenmesinde kül fırını kullanılmıştır. Tarımsal artıkların tartılmasında maksimum kapasitesi 30 kg olan ve 5 g hassasiyetli basit terazi, maksimum kapasitesi 1 kg olan ve 0.01 g hassasiyetli elektronik terazi ve briket boyutlarının ölçümünde 0.01 mm hassasiyetli dijital kumpas kullanılmıştır. Makinenin iş başarısının belirlenebilmesi için kronometre kullanılmıştır. Ayrıca denemelerde kullanılan bitkisel artıkların ve elde edilen briketlerin nem içeriklerinin belirlenmesinde kurutma fırını (etüv) kullanılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. a) Etüv, b) Kül fırını, c) Basit terazi, d) Hassas terazi, e) Dijital kumpas, f) Kronometre

Briketlerin st ısıł değerlerinin belirlenmesi amacı ile analizler Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Enerji Tarımı Araştırma Merkezinde yaptırılmış ve ısıł değerler IKA C200 marka kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir (şekil 3.14).



b

şekil 3.14. Kalorimetre cihazı

3.2 Metot

3.2.1 Tarımsal artıkların briketlenmesi

Bu çalışmada seçilen tarımsal artıklar, çalışma öncesinde farklı basınç değerlerinde sıkıştırılarak briketlenmiştir. Bu alışma için geliştirilen laboratuvar tipi hidrolik briketleme makinesi için maksimum güvenli çalışma basıncı 240 MPa'dır. Bu maksimum basınç değerlerinde briketleme yapılmıştır ancak, mısır ve ayek sapı tarımsal artıklarından elde edilen briketler adeta taş kıvamında çok sert ve sağlam çıktıkları görülmüştür. Bu durum, briketlerin ilk yanması, tutuşması ve yanma verimi açısından olumsuz bir özellik olup, bu briketlerin yakılmasında sorunlar yaşanmıştır. n denemeler sonucunda belirlenen en düşük çalışma basıncı olan 80 MPa değerinde, özellikle ayeği ve mısır sapı artıklarından elde edilen briketlerin hem şekilsel hem de fiziksel olarak yeterli sağlamlıkta ve kalitede oldukları gözlemlenmiştir. Bu nedenle, geliştirilen bu laboratuvar tipi briketleme makinesi için çalışma basınçları 80 ve 160 MPa olarak belirlenmiştir. Bu durum Krizan ve diğ. (2015), Zhang ve Guo (2014) ve Sun ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Elde edilen artıklar, briketleme öncesi doğal ortamda kurutulmuştur. Ayrıca kuruma süresinin hızlandırılması amacı ile artıklar cam sera içerisine alınarak kurutma işlemi hızlandırılmıştır. Briketleme denemeleri her bir materyal için %8-10 ve %13-

15 nem içeriğinde gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi yapılan tarımsal artıklar çekiçli değirmende öğütülerek briketleme işlemi için uygun parçacık boyutlarına getirilmiştir. Belirlenen parçacık boyutu ve nem içeriğine getirilen materyaller, hidrolik tip briketleme makinesi kullanılarak briketlenmiştir.

Briketleme işlemi süresince materyal deposuna belirli aralıklarla tıkanma yaşanmaması için materyal besleme işlemi yapılmıştır. Materyal deposuna dökülen artıklar, piston vasıtasıyla silindirik kalıp içerisine doğru itilerek sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra, sıkıştırılan materyalde genleşme olmaması için 20 saniye boyunca presleme işlemine devam edilmiştir. Briketleme işlemi sonucunda çapı 50 mm ve uzunluğu 80-110 mm arasında değişen briketler üretilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Tarımsal artıklardan üretilen briketler

3.2.2 Briketlerin fiziksel özellikleri

Briketlerin fiziksel testleri ile ilgili olarak hacim ağırlığı, kırılma (shatter) direnci, düşme-dayanıklılık (tumbler) direnci, su alma direnci, nem içeriği ve eşdeğer nem içeriği (hava nemi direnci) belirlenmiştir. Eşdeğer nem içeriği dışındaki bütün testler için briketler 7 gün süre ile kapalı ortamda çevre şartlarında bekletilmiştir. Kırılma (shatter) ve düşme-dayanıklılık (tumbler) dirençleri belirlenirken testler sırasında kırılan parçalar 20 mm'lik elek kullanılarak elenmiş ve elek üzerinde kalan parçalar kayıp olarak değerlendirilmemiştir (CRA 1987). Fiziksel özelliklerle ilgili olarak bütün testler 3 tekerrürlü olarak yapılmış ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır.

3.2.2.1 Materyal ve briket hacim ağırlığı

Briketleme öncesi materyal hacim ağırlığının belirlenmesi amacıyla hacmi daha önce belirlenmiş bir kaba, materyal belirli bir yükseklikten (yaklaşık 4 cm) doldurulmuş ve doldurulan materyalin kütlesi tartılarak kaydedilmiştir (Şekil 3.16). Materyal hacim ağırlığı materyal kütlesinin kabın hacmine bölünmesi ile hesaplanmıştır.



Şekil 3.16. Materyal hacim ağırlığının belirlenmesi

Briket hacim ağırlığının belirlenmesi amacıyla briket boyutlarının ölçülmesi (stereometrik yöntem) yöntemi kullanılmıştır. Briket hacim ağırlığının ölçülmesi yönteminde en az 3 adet briket tartılarak kütleleri kaydedilmiştir. Daha sonra silindirik briketlerin çapı ve uzunluğu 0.01 mm hassasiyetli dijital kumpas yardımı ile ölçülmüş ve briket hacmi hesaplanmıştır. Briket hacim ağırlığı, briket kütlesinin briket hacmine bölünmesi ile kg.m^{-3} olarak hesaplanmıştır.

3.2.2.2 Hammadde ve briketlerin nem içeriği

Su, bağlayıcı olarak görev yapmakta olup partiküller arasındaki temas yüzeyini arttırarak Van der Waals bağlarının oluşmasına yardımcı olur. Birçok çalışma, nem içeriğinin belli bir orana kadar artmasının briket dayanıklılığını arttırdığını göstermiştir (Kaliyan ve Morey, 2008). Hidrolik tip briketleme makinelerinde daha önce yapılmış olan değişik çalışmalarda, optimum nem içeriğinin %8-15 aralıklarında değiştiği bildirilmiştir (Zhang ve Guo, 2014; Coşoreanu ve diğ., 2015; Oladeji, 2015). Ayrıca, briket üretimi için yapılan ön denemelerde, yüksek nem içeriklerinde, materyalin kalıp içerisine yapışması ve briketlerde dağılma sorunu görülmüştür. Materyallerin ve briketlerin nem içeriğinin belirlenmesi, başarılı bir sıkıştırma yapılabilmesi için çok önemlidir (Oladeji, 2010; Wachira ve diğ., 2015). Bu yüzden

bu çalışmada, 2 farklı nem içeriği belirlenmiş olup, bu değerler literatürde belirtilen sınır değerler arasında belirlenmiştir.

Tarımsal artıkların nem içerikleri briketlenmeden önce ve sonra olmak üzere iki defa ölçülmüştür. Materyalin nem içeriklerinin belirlenmesi amacıyla 105°C sıcaklıkta 24 saat kurutma fırınında (etüv) bekletilmiştir. Kurutulmadan önceki ve sonraki ölçülen kütleler eşitlik (3.1) kullanılarak yaş bazda nem içerikleri belirlenmiştir.

$$\%nem = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

m_1 : Yaş ürün kütlesi (g),

m_0 : Kuru ürün kütlesi (g).

Elde edilen briketlerin neme karşı dayanımlarını belirlenmesi amacıyla briketler için briketleme makinesinden çıkış anındaki ve briketlerin elde edilmesini takip eden 7. gün sonundaki nem içerikleri belirlenmiştir.

3.2.2.3 Düşme-dayanıklılık (tumbler) direnci

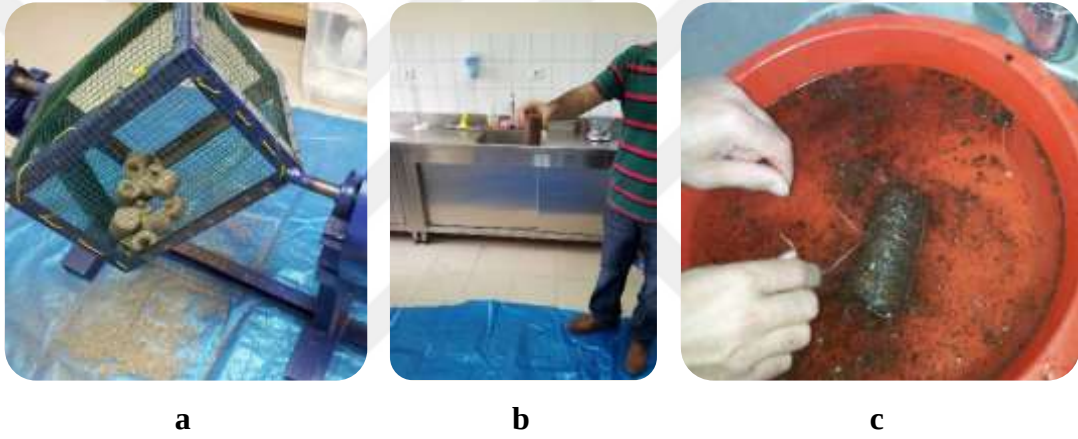
Bu testte, 5 briket ASAE S269.4 standardına göre yapılmış, test düzeneğine yerleştirilmeden önce tartılmış ve kütleleri kaydedilmiştir. Daha sonra briketler test düzeneğine yerleştirilmiş ve 3 dakika süreyle 40 min⁻¹ ile döndürülmüştür. Döndürme işleminin sonunda briketler dışarı alınarak tekrar tartılmış ve kütleleri kaydedilmiştir. Test süresince oluşan kütle kaybına bağlı olarak düşme-dayanıklılık (tumbler) direnci yüzde olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.17a).

3.2.2.4 Kırılma (shatter) direnci

Bu test, briketlerin boşaltma esnasında kırılmaya karşı mukavemetlerini gösteren bir testtir. Kırılma (shatter) direncinin belirlenmesinde, briketler test öncesi tartılarak kütleleri kaydedilmiştir. Daha sonra briketler belirli bir yükseklikten (1-1.8 m) sert bir zemin üzerine 10 defa düşürülmüş ve tekrar tartılarak kütleleri kaydedilmiştir. Kırılma sonucu meydana gelen kayba bağlı olarak kırılma (shatter) direnci yüzde (%) olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.17b).

3.2.2.5 Su alma kapasitesi

Yoğunlaştırılmış malzemelerin taşıma ya da depolama sırasında yağmura ve yüksek neme maruz kalması bu malzemelerin kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Clark, 2008). Su alma kapasitesi suyun içine daldırılan briket tarafından absorbe edilen suyun yüzde olarak ölçüsüdür. Bu testte, her bir briket kütlesi, suya daldırılmadan önce tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra her bir briket yaklaşık 27°C sıcaklıktaki soğuk şebeke suyuna daldırılarak, 30’ar saniye aralıklarla toplam 2 dakika süresi boyunca kütleleri tekrar tartılarak kaydedilmiştir. Su alma direnci, kütledeki artışa bağlı olarak yüzde olarak hesaplanmıştır (Lindley ve Vossoughi, 1989; Kaliyan ve Morey, 2009) (Şekil 3.17c).



Şekil 3.17. a) Düşme-dayanıklılık testi, b) Kırılma testi, c) Su alma kapasitesi testi

3.2.2.6 Eşdeğer nem içeriği (hava nemi direnci)

Bu testte, briketler üretimlerinden itibaren 21 gün süreyle kapalı ortamda çevre şartlarında bekletilmiştir. Bekletme öncesi ve sonrası briket kütleleri tartılarak kaydedilip kütledeki artışa bağlı olarak briketlerin eşdeğer nem içerikleri belirlenmiştir.

3.2.3 Isıl değerlerin belirlenmesi

Bir yakıtın ısı değeri, birim kütledeki yakıtın tamamen yanması sonucu açığa çıkan ısıнын bir göstergesidir. Briketlerin alt ısı değeri ASTM D 5865–04 standardına göre kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. 24 saat süreyle 105 °C’ de etüvde bekletilerek içerisindeki nem uzaklaştırılmıştır. Isıl değer testinde 1 g kütlesindeki fırın kurusu örnekler standart koşullarda bir kalorimetre bombasında oksijen ortamında

yakılır. Kalorimetre kabı içindeki suyun sıcaklık derecesinin artışına ve sistemin ortalama gerçek ısı sığasına göre ısıl değer tayin edilir. Yanma ısısı, yanma işleminden önce, yanma işlemi anında ve yanma işleminden sonraki sıcaklığın izlenmesi ve bunlara termo-kimyasal ve ısı değişimi düzeltmelerinin uygulanması ile hesaplanmıştır. Isıl değer analizleri, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Enerji Tarımı Araştırma Merkezinde tarafından yapılmış ve ısıl değerler IKA C200 marka kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.4 Kül içeriğinin belirlenmesi

Kül içeriği ASTM D-5142 standardına göre belirlenmiştir. Kül içeriğinin belirlenmesi amacıyla materyal örnekleri önce 105 °C’ de 24 saat süreyle kurutma fırınında kurutulmuştur. Daha sonra 2 g kütledeki örnekler 800 °C’ de 5 saat kül fırınında yakılmış ve eşitlik (3.2) kullanılarak kül içeriği hesaplanmıştır.

$$Kİ = \left[1 - \left(\frac{A_{yön} - A_{yson}}{A_{yön}} \right) \right] \times 100 \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

$Kİ$: Kül içeriği (%)

$A_{yön}$: Yakma öncesi materyal kütlesi (g)

A_{yson} : Yakma sonrası materyal kütlesi (g)

3.2.5 Baca gazı emisyon değerleri

Emisyon ölçümleri, çeşitli faaliyetler sonucu oluşan ve atmosfere atılan atık gazların ölçümünü içermektedir. Bacalardan çevreye yayılan partiküllerin ve gazların analizleri özel numune alma yöntemleri ve aparatları ile gerçekleştirilmiştir. Baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi amacıyla briketler, evsel ısıtmalarda kullanılan şömine tipi sobada yakılmış ve yanma sonucu oluşan baca gazı emisyon değerleri (O_2 , CO , CO_2 , SO_2 , NO_x) ile baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi baca gazı analizörü ile ölçülerek online olarak bilgisayara aktarılmıştır. Emisyon ölçümleri Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’nde (IKHKKY) katı yakma tesisleri ve odun ve bitkisel artıkların yakılması ile ilgili verilen %13 O_2 (standart oksijen miktarı yüzdesi) ve %20.3 CO_{2max} (her bir yakıt için kuru artık gaz içindeki maksimum karbondioksit yüzdesi) referans değerlerine göre yapılmış ve bu değerler test öncesi emisyon ölçüm cihazına girilerek tanımlanmıştır. Denemelerde cihazın ölçüm

algılayıcısı soba baca borusu üzerine soba çıkışından yaklaşık 1 m uzağa açılan deliğe yerleştirilmiştir. Algılayıcı, uç noktası boru kesitinin merkezine gelecek kadar delikten içeriye sokulmuştur (Şekil 3.18) ve denemeler süresince tek bir noktadan ölçüm alınmıştır. Ölçümlere başlamadan önce şömine tipi soba içerisinde parça odun yakılmış ve yanma işlemi rejime girdikten sonra (soba içerisinde alevin olmadığı ve kor ateş durumu) her bir deneme için üç adet briket (yaklaşık 600 g) yanma odasına dikey olarak yerleştirilmiştir. Daha sonra baca gazı analizörü çalıştırılmış ve analizör içerisindeki pompa yardımıyla gaz örneği ölçüm probu içerisinden çekilerek cihaz içerisindeki elektro-kimyasal hücreler içerisinden geçirilmiş ve ölçülen değerler yazılı olarak alınmış ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ölçüm işlemi yanmanın başlangıcından bitimine kadar sürmüş ve her bir deneme işlemi için aynı işlemler tekrarlanmıştır.



Şekil 3.18. Baca gazı ölçüm cihazı probunun yerleştirilmesi

Verilerin analizi, tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır. Verilerin normallik dağılımının kontrolü için Kolmogorov Smirnov testi uygulanmış olup, verilerin normal dağıldığı belirlenmiştir ($P>0.05$). Yüzdelik olarak elde edilen verilerin normal dağılmayanlarına açığa transformasyonu yapılarak verilerin normal dağılım göstermesi sağlanmıştır. 2^3 seviyeli tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre varyans analizleri yapılmıştır. Üçlü interaksiyonların önemli çıktığı durumlar için tek yönlü varyans analizi uygulanmış ve Duncan çoklu karşılaştırma testi ile gruplar arası farklılıklar belirlenmiştir. Ondokuz Mayıs Üniversitesi lisanslı istatistik paket programı IBM SPSS Statistics 21 verilerin analizi için kullanılmıştır. Denemenin matematiksel modeli aşağıdaki gibidir (3.3);

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + e_{ijkl} \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

- Y_{ijkl} : Sıkıştırma basıncının i.nci seviyesi, nem içeriğinin j. nci seviyesi, öğütme inceliğinin k.nci seviyesi ve l.nci tekerrürüne ait gözlem değeri
- μ : Genel popülasyon ortalaması
- α_i : Sıkıştırma basıncının i.'nci seviye etkisi
- β_j : Nem içeriğinin j.'nci seviye etkisi
- γ_k : Öğütme inceliğinin k.'nci seviye etkisi
- $(\alpha\beta)_{ij}$: Sıkıştırma basıncının i.'nci seviyesi ile nem içeriğinin j.'nci seviyesinin interaksiyon etkisi
- $(\alpha\gamma)_{ik}$: Sıkıştırma basıncının i.'nci seviyesi ile öğütme inceliğinin k.'nci seviyesinin interaksiyon etkisi
- $(\beta\gamma)_{jk}$: Nem içeriğinin j.'nci seviyesi ile öğütme inceliğinin k.'nci seviyesinin interaksiyon etkisi
- $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: Sıkıştırma basıncının i.'nci seviyesi, nem içeriğinin j.'nci seviyesi ve öğütme inceliğinin k.'nci seviyesinin interaksiyon etkisi
- e_{ijkl} : Tesadüfî hata

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma sonucunda; Karadeniz Bölgesinde yoğun olarak tarımı yapılan başta fındık olmak üzere mısır ve ayçiçeği tarımsal ürünlerinin hasat ve harmanından sonra açığa çıkan tarımsal artıkların briketlenerek katı biyoyakıt olarak değerlendirilebilme olanakları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, briketlerin fiziko-mekanik özellikleri, yanma sonu açığa çıkan gaz emisyonları, ısı değerleri ve kül içeriği parametreleri tespit edilmiştir. Temin edilen artıklar, belirlenen parçacık boyutlarında öğütüldükten sonra, 2 farklı nem içeriğinde ve 2 farklı sıkıştırma basıncında briketlenmiştir. Çalışmada kullanılan bazı terimlerin kısaltmaları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Parametre kısaltmaları

Parametre	Kısaltma
Fındık zurufu	FZ
Ayçiçeği sapı	AS
Mısır sapı	MS
Sıkıştırma basıncı	P
Nem içeriği	M
Parçacık boyutu	PB

4.1 Tarımsal Artıkların Özellikleri

Çalışmanın amacına uygun olarak, denemelerde kullanılacak fındık, ayçiçeği ve mısır artıklarından 2 farklı parçacık boyutu elde etmek için materyaller elek analizine tabi tutulmuştur. Tarımsal artıkların, öğütme işleminden sonra yapılan elek analizi sonuçları Çizelge 4.2 ve 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Tarımsal artıkların parçacık boyut dağılımı (%) (2-5 mm)

Ürün	M (%)	Elek boyutları (mm)				
		0-1.00	1.00-2.00	2.00-3.36	3.36-4.75	>4.75
FZ	8.30	16.02	9.99	17.78	51.62	4.59
AS	9.42	14.25	8.54	13.93	57.95	5.33
MS	8.93	19.99	12.85	28.15	31.76	7.25

Çizelge 4.3. Tarımsal artıkların parçacık boyut dağılımı (%) (7-10 mm)

Ürün	M (%)	Elek boyutları (mm)				
		4.75-5.66	5.66-6.30	6.30-8.00	8.00-9.53	>9.53
FZ	8.26	9.32	11.36	45.41	27.07	6.85
AS	9.53	10.40	8.58	18.47	54.03	8.52
MS	8.68	9.54	13.96	30.57	32.80	13.12

Çizelge 4.2 incelendiğinde; fındık zurufu, ayçiçeği sapı ve mısır sapı tarımsal artıklarının parçacık boyut dağılımı sırasıyla %69.40, 71.88, 59.91’inin 2 - 4.75 mm aralığında, Çizelge 4.3 incelendiğinde ise %72.48, 72.50, 63.37’sinin 6.30-9.53 mm aralığında elde edildiği görülmüştür.

Daha önce yapılmış olan değişik çalışmalarda, hidrolik tip briketleme makinelerinde optimum nem içeriğinin %8-15 aralıklarında değiştiği bildirilmiştir (Zhang ve Guo, 2014; Coşereanu ve diğ., 2015; Oladeji, 2015). Ayrıca, briket üretimi için yapılan ön denemelerde, yüksek nem içeriklerinde, materyalin kalıp içerisine yapışması ve briketlerde dağılma sorunu görülmüştür.

Briketlerde başarılı bir sıkıştırma yapılabilmesi için materyal yoğunluğu, nem içeriği ve parçacık boyutu çok önemlidir (Oladeji, 2010; Wachira ve diğ., 2015). Parçacık boyutuna bağlı olarak fındık zurufu, ayçiçeği ve mısır sapı artıkları için 2 farklı nem içeriği ve 2 farklı parçacık boyutunda elde edilen materyal hacim ağırlıklarındaki ortalama değişimler Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı P, M ve PB’da materyal hacim ağırlıkları

M (%)	PB (mm)	Materyal hacim ağırlığı (kg.m ⁻³)		
		FZ	AS	MS
8-10	2-5	223.95	207.76	86.92
	7-10	210.17	131.99	39.03
13-15	2-5	176.79	183.70	82.26
	7-10	142.90	128.32	48.74

Çizelge 4.4 incelendiğinde, en düşük materyal yoğunluğu odunsu bir yapıya sahip olmaması, içi boş ve daha hafif bir materyal olmasından dolayı mısır sapı atığında elde edilmiştir. Nem içeriği daha düşük olan uygulamalarda, materyal yoğunluğu beklenildiği gibi daha yüksek çıkmıştır. Benzer şekilde, öğütme incelikleri daha küçük olan materyallerde daha yüksek materyal hacim ağırlıkları elde edilmiştir. Yüksek yoğunluğa sahip materyallerin, besleme deposuna akış hızı ve kalıp içerisine hareketinin düzenli olduğu görülmüştür.

4.2 Briketlere Ait Bulgular

4.2.1 Briket nem içeriği

Farklı parçacık boyutu ve farklı sıkıştırma basınçlarında elde edilen tarımsal artıklara ait briketlerin ilk çıkış anındaki briket nem içeriği değerleri tespit edilmiştir. Bu briketler, 7 gün süresi boyunca $25^{\circ}\text{C} \pm 2$ ve %50-70 nem içeriğine sahip iç ortam koşullarında muhafaza edilmiştir. 7. gün sonunda briketlerin nem içerikleri tekrar ölçülmüştür (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Briketlerin ilk çıkış ve 7. gün nem içeriği değerleri

P (MPa)	M (%)	PB (mm)	Briket üretim nem değeri (%)			Briket 7. gün nem değeri (%)		
			FZ	AS	MS	FZ	AS	MS
80	8-10	2-5	8.50	9.42	8.93	10.19	6.64	5.94
		7-10	8.30	9.60	8.67	10.06	6.55	6.00
	13-15	2-5	14.05	14.06	14.34	11.84	7.04	6.72
		7-10	13.71	14.00	13.04	11.99	7.22	6.81
160	8-10	2-5	7.88	9.45	9.10	9.46	6.37	5.78
		7-10	8.26	9.53	8.68	9.00	6.34	5.53
	13-15	2-5	14.58	14.70	13.99	12.67	7.50	6.79
		7-10	14.34	13.59	13.10	12.72	7.19	6.69

Çizelge 4.5’den görüldüğü gibi %8-10 nem içeriği aralığındaki 80 MPa sıkıştırma basıncında fındık zurufundan elde edilen briketler 7. gün sonunda iç ortam havasından nem almıştır. Ancak, diğer iki materyalden elde edilen briketlerde kuruma meydana gelmiştir. 80 MPa sıkıştırma basıncında ve %13-15 nem içeriği aralığında ise tüm briketlerde 7. günün sonunda bir kuruma olduğu gözlemlenmiş ve dolayısıyla nem içeriği değerleri azalmıştır. Ayçiçeği ve mısır sapı artıklarından elde edilen briketlerde daha fazla bir kuruma olduğu ve briketlerin nem içeriği değerlerinin

neredeyse yarı yarıya azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak, fındık zurufundan elde edilen briketlerde bu nem aralığında kuruma 7. günün sonunda daha az olmuştur. Bu durum, fındık zurufu materyalinin su tutma özelliğinin diğer iki materyale göre daha iyi olduğunu göstermektedir. 160 MPa sıkıştırma basıncında ve %13-15 nem içeriği aralığında yine tüm briketlerde 7. günün sonunda bir kuruma olduğu gözlemlenmiş ve nem içeriği değerleri azalmıştır. Bu kuruma ayçiçeği ve mısır atığından elde edilen briketlerde daha fazla olmuştur.

4.2.2 Briket hacim ağırlığı

Basınç uygulaması briketin yapısında bulunan parçacıkların daha iyi sıkışmasını sağlamaktadır. Sıkıştırma işlemi sonucu üretilen briketlerin şekli ve boyutları depolama ve taşıma maliyetlerini azaltmaktadır (Karunanithy ve diğ., 2012). Bu sebeple, tarımsal artıkların istenilen parçacık boyutu ve nem içeriği değerleri sağlandıktan sonra, 80 ve 160 MPa sıkıştırma basınçlarında hidrolik tip presle briketleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Briketlemeden önce ve briketlemeden sonra tarımsal artıkların yaş bazda hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Artıkların belirlenen hacim ağırlıklarının karşılaştırılmasıyla briketleme işleminin başarısı ortaya konulmuştur.

Çizelge 4.6'da fındık zurufu briketlerinin hacim ağırlıkları ve sıkıştırma oranları verilmiştir. En yüksek sıkıştırma oranı 7.03 değeri ile 160 MPa sıkıştırma basıncında, %13-15 nem içeriğinde ve 7-10 mm parçacık boyutunda elde edilmiştir. Benzer şekilde en düşük sıkıştırma oranı 4.45 değeri ile 80 MPa sıkıştırma basıncında, %8-10 nem içeriğinde ve 7-10 mm parçacık boyutunda elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak %8-10 nem içeriğinde ve 7-10 mm parçacık boyutunda briket yoğunluğu çok düşük olmamasına rağmen materyal yoğunluğu en düşük değerde olduğu için daha yüksek bir sıkıştırma yoğunluğu elde edilmiştir.

Çizelge 4.6. Fındık zurufu briketlerinin sıkıştırma oranları

P (MPa)	M (%)	PB (mm)	Materyal hacim ağırlığı (kg.m ⁻³)	Briket hacim ağırlığı (kg.m ⁻³)	Sıkıştırma oranı
80	8-10	2-5	223.95	1009.81	4.51
		7-10	210.17	936.24	4.45
	13-15	2-5	176.79	1016.55	5.75
		7-10	142.90	978.54	6.85
160	8-10	2-5	223.95	1181.17	5.27
		7-10	210.17	1150.99	5.48
	13-15	2-5	176.79	1143.23	6.47
		7-10	142.90	1005.43	7.03

Çizelge 4.7’de ayçiçeği sapı briketlerinin hacim ağırlıkları ve sıkıştırma oranları verilmiştir. En yüksek sıkıştırma oranı, 9.25 değeri ile 160 MPa sıkıştırma basıncında, %13-15 nem içeriğinde ve 7-10 mm parçacık boyutunda elde edilmiş ve en düşük sıkıştırma oranı 5.35 değeri ile 80 MPa sıkıştırma basıncında, %8-10 nem içeriğinde ve 2-5 mm parçacık boyutunda elde edilmiştir. Bu durumun parçacık boyutundaki değişimden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.7. Ayçiçeği sapı briketlerinin sıkıştırma oranları

P (MPa)	M (%)	PB (mm)	Materyal hacim ağırlığı (kg.m ⁻³)	Briket hacim ağırlığı (kg.m ⁻³)	Sıkıştırma oranı
80	8-10	2-5	207.76	1112.28	5.35
		7-10	131.99	1067.14	8.09
	13-15	2-5	183.70	1076.68	5.86
		7-10	128.32	1072.80	8.36
160	8-10	2-5	207.76	1216.03	5.85
		7-10	131.99	1199.17	9.08
	13-15	2-5	183.70	1187.67	6.47
		7-10	128.32	1186.68	9.25

Çizelge 4.8’de mısır sapı briketlerinin hacim ağırlıkları ve sıkıştırma oranları verilmiştir.

Çizelge 4.8. Mısır sapı briketlerinin sıkıştırma oranları

P (MPa)	M (%)	PB (mm)	Materyal hacim ağırlığı (kg.m ⁻³)	Briket hacim ağırlığı (kg.m ⁻³)	Sıkıştırma oranı
80	8-10	2-5	86.92	1032.91	11.88
		7-10	39.03	1019.72	26.13
	13-15	2-5	82.26	951.11	11.56
		7-10	48.74	949.56	19.48
160	8-10	2-5	86.92	1159.70	13.34
		7-10	39.03	1155.88	29.61
	13-15	2-5	82.26	1055.23	12.82
		7-10	48.74	999.14	20.50

Çizelge 4.8 incelendiğinde, mısır sapı briketleri için en yüksek sıkıştırma oranı 29.61 değeri ile 160 MPa sıkıştırma basıncında, %8-10 nem içeriğinde ve 7-10 mm parçacık boyutunda elde edilmiş ve en düşük sıkıştırma oranı 11.56 değeri ile 80 MPa sıkıştırma basıncında, %13-15 nem içeriğinde ve 2-5 mm parçacık boyutunda elde edilmiştir. Briketlerin nem içeriği azaldıkça yoğunluğu artmış olup literatürde yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermiştir (Wachira vd 2015).

Biyokütlenin sıkıştırma işlemi kullanılan makine tipine (piston pres, helezon pres, hidrolik pres vb.) hammaddenin özelliklerine (nem içeriği ve parçacık boyutu) ve materyalin biyokimyasal yapısına (nişasta, protein, yağ ve lignoselülozik yapı) göre değişiklik göstermektedir (Reed ve diğ., 1980). Çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en yüksek sıkıştırma oranları her üç materyal içinde 160 MPa sıkıştırma basıncında, fındık zurufu ve ayçiçeği sapı briketlerinde %13-15, mısır sapı briketlerinde ise %8-10 nem içeriğinde elde edilmiştir.

Elde edilen briket hacim ağırlıklarının büyük bir kısmının literatürde belirtilen 1000-1400 kg.m⁻³ değerlerinde olduğu görülmüştür (Grover ve Mishra, 1996; Kaliyan ve diğ., 2006; Tumulu ve diğ., 2011; Chinyere ve diğ., 2014). Bu durum ise briketleme işleminin başarılı olduğunu göstermektedir. Farklı nem içeriği, farklı parçacık boyutu ve farklı sıkıştırma basıncından elde edilen sonuçlar Karaca (2009), Yumak ve diğ. (2010), Karunanithy ve diğ., (2012) ile benzerlik göstermiştir. Denemeler sonucunda, sıkıştırma basıncının artmasının briket yoğunluğunu arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, parçacık boyu azaldıkça briket yoğunluğu artmıştır.

Sıkıştırma basınçlarına bağlı olarak fındık zurufu, ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal artıklarından iki farklı nem içeriğinde ve iki farklı parçacık boyutunda elde edilen briketlerin hacim ağırlıklarındaki değişimi Çizelge 4.9’da verilmiştir

Çizelge 4.9. Sıkıştırma basıncının briket hacim ağırlığına etkisi

P (MPa)	Briket hacim ağırlığı (kg.m ⁻³)		
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
	FZ	AS	MS
80	998.89 $\pm$ 7.28	1091.17 $\pm$ 5.63	979.8 $\pm$ 14.42
160	1107.53 $\pm$ 7.40	1203.79 $\pm$ 7.28	1092.83 $\pm$ 14.79
Önemlilik	<0.01	<0.01	<0.01

Her bir materyal için ayrı ayrı yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda 80 ve 160 MPa sıkıştırma basınçları altında elde edilen briketlerin hacim ağırlıkları arasındaki fark önemli bulunmuştur (P<0.01). Beklenildiği gibi, 160 MPa sıkıştırma basıncı altında tüm materyallerde 80 MPa basınç altında elde edilenlere göre daha yüksek briket hacim ağırlıkları elde edilmiştir.

Nem içeriği değerlerine bağlı olarak; fındık zurufu, ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal artıklarından iki farklı nem içeriğinde ve iki farklı parçacık boyutunda elde edilen briketlerin hacim ağırlıklarındaki değişimi Çizelge 4.10’da verilmiştir

Çizelge 4.10. Nem içeriğinin briket yoğunluğuna etkisi

M (%)	Briket hacim ağırlığı (kg.m ⁻³)		
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
	FZ	AS	MS
8-10	1083.14 $\pm$ 8.66	1160.52 $\pm$ 14.52	1092.82 $\pm$ 17.39
13-15	1023.28 $\pm$ 6.98	1134.44 $\pm$ 14.47	979.82 $\pm$ 16.43
Önemlilik	<0.01	<0.01	<0.01

Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda %8-10 ve %13-15 nem içeriği değerlerinde elde edilen briketlerin hacim ağırlıkları arasındaki fark önemli bulunmuştur (P<0.01). Bu durum sıvıların sıkıştırılamama özelliğinden dolayı çalışmada kullanılan üç farklı materyalde de nem içeriği daha düşük olan

materyallerden elde edilen briketlerin yoğunluğunun daha yüksek çıkmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.11’de materyal öğütme inceliklerine bağlı olarak fındık zurufu, ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal artıklarından iki farklı sıkıştırma basıncında ve iki farklı nem içeriğinde elde edilen briketlerin hacim ağırlıklarındaki değişimler verilmiştir.

Çizelge 4.11. Parçacık boyutunun briket hacim ağırlığına etkisi

PB (mm)	Briket hacim ağırlığı (kg.m ⁻³)		
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
	FZ	AS	MS
2-5	1054.36 ± 20.77	1152.11 ± 18.57	1045.49 ± 23.25
7-10	1052.06 ± 19.35	1142.85 ± 19.57	1027.14 ± 22.43
Önemlilik	0.686	<0.05	<0.05

Her bir materyal için ayrı ayrı yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda, iki farklı öğütme inceliğinde fındık zurufundan elde edilen briketlerin hacim ağırlıkları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Ancak, diğer iki materyalden elde edilen briketler için bu durum söz konusu değildir (P<0.05). Bu durumun fındık zurufu tarımsal atığının diğer iki materyale göre daha odunsu bir yapıda olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan araştırmalarda, materyal parçacık boyut dağılımının briket yoğunluğu üzerinde en etkili parametrelerden biri olduğu ve bu dağılımın briketlerin yüzey pürüzlülüğünü etkiledikleri bildirilmektedir (Bilgin, 2008; Wilaipon, 2009; Oladeji, 2015).

Sıkıştırma basıncı, nem içeriği ve parçacık boyutu parametrelerinin her bir materyal üzerindeki etkileri istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve varyans analiz sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Farklı P, M ve PB parametrelerin etkisi altında materyallerin briket hacim ağırlıkları

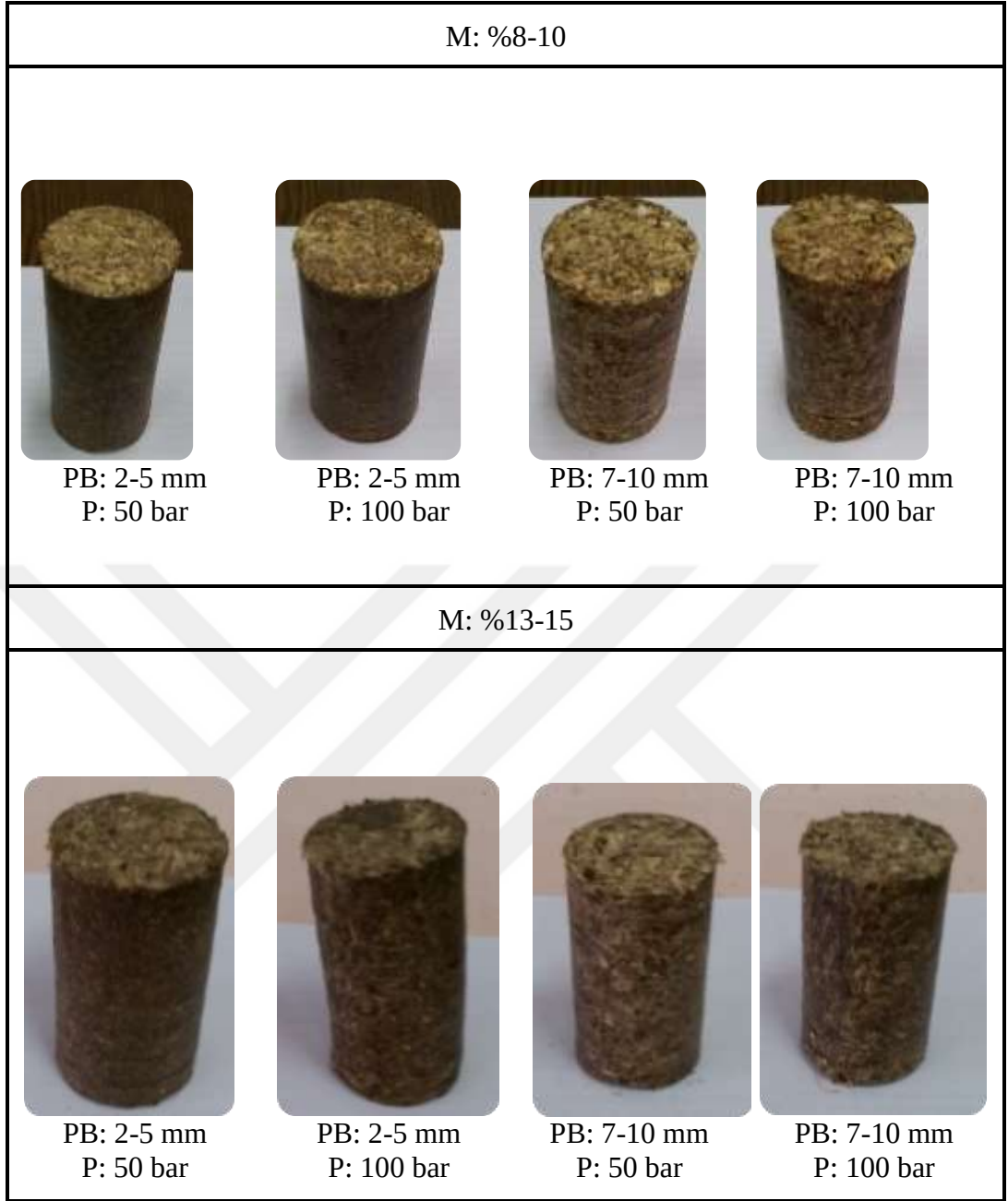
Briket hacim ağırlığı (kg.m ⁻³)					
P (MPa)	M (%)	PB (mm)	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
			FZ	AS	MS
80	8-10	2-5	1012.79 ± 1.51de	1120.08 ± 3.48c	1026.41 ± 2.41
		7-10	962.18 ± 2.20f	1071.39 ± 3.35e	1018.47 ± 2.76
	13-15	2-5	1025.61 ± 3.60cd	1090.55 ± 1.15d	951.11 ± 15.52
		7-10	994.97 ± 3.48e	1082.66 ± 1.34de	923.23 ± 16.08
160	8-10	2-5	1198.56 ± 2.89a	1228.30 ± 9.25a	1169.22 ± 5.51
		7-10	1159.04 ± 2.91b	1222.32 ± 9.87a	1157.16 ± 6.87
	13-15	2-5	1041.46 ± 6.19c	1183.38 ± 1.54b	1055.23 ± 7.74
		7-10	1031.07 ± 6.25cd	1181.18 ± 0.85b	989.70 ± 6.39
Önemlilik			<0.01	<0.01	0.235

Üç farklı parametrenin fındık zurufu ve ayçiçeği sapı tarımsal artıklarından elde edilen briketlerin hacim ağırlıkları üzerindeki etkisinin önemli olduğu ($P < 0.01$) tespit edilmiştir. Ancak, bu üç farklı parametre ile elde edilen mısır sapı artığı briketlerinin hacim ağırlıkları arasındaki fark önemsiz bulunmuştur. Fındık zurufu materyali için maksimum briket yoğunluğu 160 MPa sıkıştırma basıncı, %8-10 nem içeriği ve 2-5 mm parçacık boyutunda $1198.56 \pm 2.89 \text{ kg.m}^{-3}$ değeri ile elde edilmiştir. Ayçiçeği sapı ve mısır sapı tarımsal artıkları için maksimum briket yoğunluğu yine 160 MPa sıkıştırma basıncı, %8-10 nem içeriği ve 2-5 mm parçacık boyutunda sırasıyla $1228.30 \pm 9.25 \text{ kg.m}^{-3}$ ve $1169.22 \pm 5.51 \text{ kg.m}^{-3}$ değerleri ile elde edilmiştir. Ancak, yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda mısır sapı briketlerinin yoğunluğu üzerinde sıkıştırma basıncı, nem içeriği ve parçacık boyutunun etkisi önemsiz bulunmuştur.

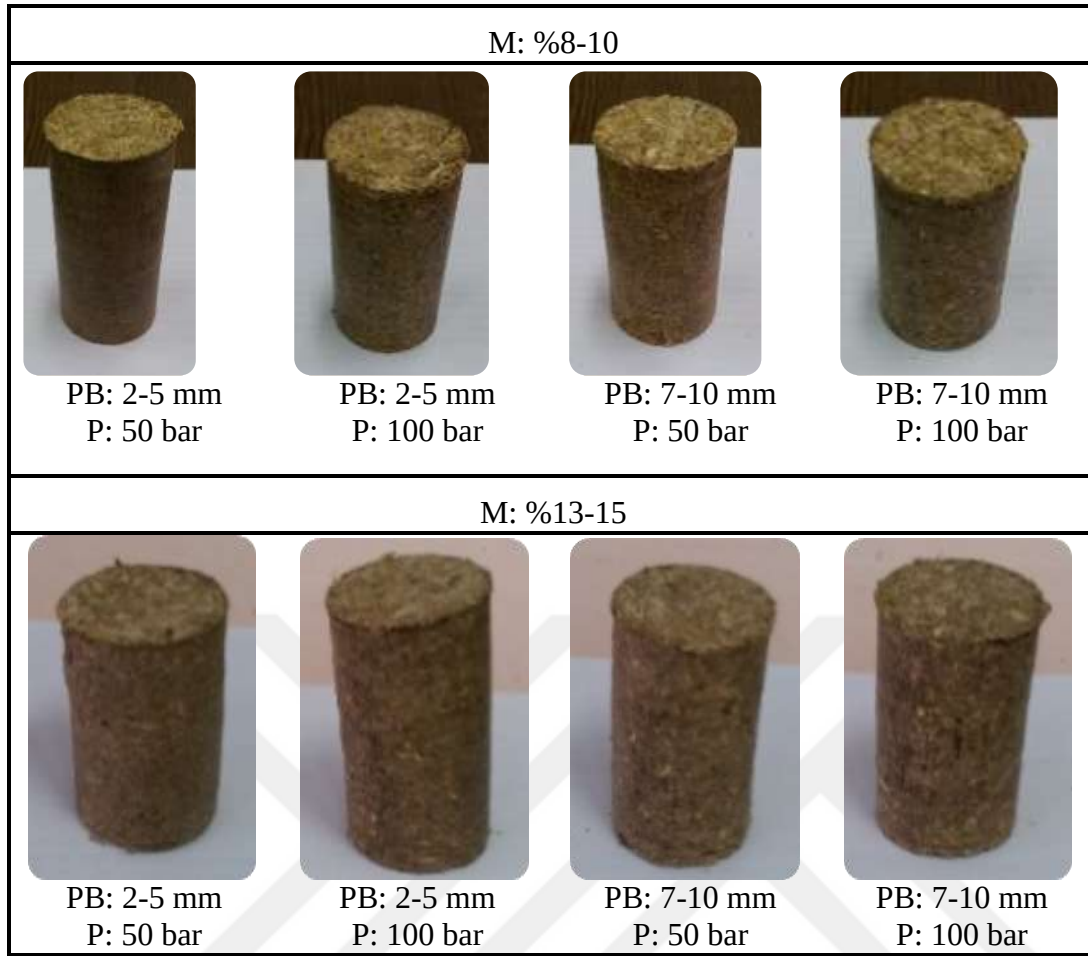
Çalışmada belirlenen parametrelere bağlı olarak üretilen briketler Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3’de verilmiştir.

M: %8-10			
			
PB: 2-5 mm P: 50 bar	PB: 2-5 mm P: 100 bar	PB: 7-10 mm P: 50 bar	PB: 7-10 mm P: 100 bar
M: %13-15			
			
PB: 2-5 mm P: 50 bar	PB: 2-5 mm P: 100 bar	PB: 7-10 mm P: 50 bar	PB: 7-10 mm P: 100 bar

Şekil 4.1. FZ tarımsal atığından elde edilen briketler



Şekil 4.2. AS tarımsal atığından elde edilen briketler



Şekil 4.3. MS tarımsal atığından elde edilen briketler

4.2.3 Düşme-dayanıklılık direnci (tumbler indeksi)

Briketlerin düşme-dayanıklılık direnci, özellikle briketlerin yükleme, boşaltma, taşıma ve depolama gibi işlemler sırasında, kırılma ve ufalanmaya karşı gösterecekleri direncin bir ölçüsüdür ve bu test ile briketlerin, taşıma sürecinden yakma sistemlerinde kullanılıncaya kadar sağlam kalması açısından önemli bir faktördür (Zhang ve Guo, 2014; Niedziolka, 2015). Düşme-dayanıklılık direnci testine tabi tutulan briketlerin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.13, 4.14, 4.15, 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.13. Sıkıştırma basıncının düşme-dayanıklılık direncine etkisi

Düşme-dayanıklılık direnci (%)			
P (MPa)	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
	FZ	AS	MS
80	64.84 $\pm$ 1.11	95.66 $\pm$ 0.20	96.38 $\pm$ 0.19
160	87.31 $\pm$ 1.00	96.27 $\pm$ 0.26	97.61 $\pm$ 0.09
Önemlilik	<0.01	<0.01	<0.01

Çizelge 4.13’de her bir materyal için ayrı ayrı yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda, 80 ve 160 MPa sıkıştırma basınçları altında elde edilen briketlerin düşme-dayanıklılık dirençleri arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Basınç, materyal taneleri arasındaki uzaklığı azaltarak birbirlerine yaklaşmalarını sağlamakta ve tanecik yüzeylerinin temas oranını artırmaktadır. Buna göre denemesi yapılan üç farklı materyalde de 160 MPa sıkıştırma basıncı altında elde edilen briketlerin düşme-dayanıklılık dirençleri 80 MPa basınç altında elde edilen briketlerin dirençlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Fındık zurufundan elde edilen briketlerin düşme-dayanıklılık dirençleri mısır ve ayçiçeği artıklarından elde edilen briketlerin dirençlerinden daha düşük çıkmıştır. Bunun sebebi ayçiçeği ve mısır artıklarının lifli bir yapıya sahip olmalarından dolayı aynı basınç altında fındık zurufuna göre daha iyi sıkıştırılabilmeleridir. Hussain vd (2002), briketlerin sıkıştırma basıncı arttıkça dayanımlarının arttığını belirtmişlerdir ve elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde bu durumun sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 4.14. Nem içeriğinin düşme-dayanıklılık direncine etkisi

M (%)	Düşme-dayanıklılık direnci (%)		
	FZ	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	MS
8-10	68.38 $\pm$ 3.09	95.83 $\pm$ 0.27	96.57 $\pm$ 0.24
13-15	83.77 $\pm$ 2.04	96.09 $\pm$ 0.22	97.41 $\pm$ 0.15
Önemlilik	<0.01	<0.01	<0.01

Çizelge 4.14’de, her bir materyal için ayrı ayrı yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda, %8-10 ve %13-15 nem içeriği değerlerinde elde edilen briketlerin düşme-dayanıklılık dirençleri arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Nem içeriği arttıkça briketlerin düşme dayanıklılık dirençlerinin arttığı gözlemlenmiştir (Bazargan ve diğ., 2014; Wachira ve diğ., 2015). Benzer şekilde fındık zurufundan elde edilen briketlerin nem içeriklerine bağlı olarak tespit edilen düşme dayanıklılık dirençlerinin diğer iki materyalden elde edilen briketlerin dirençlerinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Materyal parçacık boyutuna bağlı olarak fındık zurufu, ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal artıklarından iki farklı sıkıştırma basıncında ve iki farklı parçacık boyutunda elde edilen briketlerin düşme-dayanıklılık dirençlerindeki değişim Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Parçacık boyutunun düşme-dayanıklılık direncine etkisi

PB (mm)	Düşme-dayanıklılık direnci (%)		
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
	FZ	AS	MS
2-5	78.92 $\pm$ 3.57	95.39 $\pm$ 0.24	96.84 $\pm$ 0.25
7-10	73.23 $\pm$ 3.16	96.54 $\pm$ 0.09	97.14 $\pm$ 0.22
Önemlilik	<0.01	<0.01	<0.01

Her bir materyal için ayrı ayrı yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda, 2-5 mm ve 7-10 mm parçacık boyutunda değerlerinde elde edilen briketlerin düşme-dayanıklılık dirençleri arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). Çizelge 4.15’de ayçiçeği ve mısır artıklarından elde edilen briketlerin düşme dayanıklılık dirençleri parçacık boyutu arttıkça artmıştır. Bunun sebebi bu iki materyalin lifli bir yapıda olmasından dolayı daha büyük parçacık boyutundaki materyallerin birbirini daha iyi bağlayabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Fındık zurufu odunsu bir yapıya sahip olduğu için bu durumun tam tersi bir durum oluşmuştur yani; daha büyük parçacık boyutunda briketler daha kırılgan bir özellik sergilemiştir.

Sıkıştırma basıncı, nem içeriği ve parçacık boyutu parametrelerinin her bir materyal üzerindeki etkileri istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve elde edilen briketlere ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Farklı SB, Nİ ve PB parametrelerin etkisi altında briketlerin düşme-dayanıklılık direnci değişimleri

Düşme-dayanıklılık direnci (%)					
SB (MPa)	Nİ (%)	PB (mm)	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
			FZ	AS	MS
80	8-10	2-5	60.18 ± 0.76f	94.84 ± 0.10f	95.56 ± 0.02
		7-10	44.7 ± 1.00g	96.27 ± 0.02d	96.02 ± 0.10
	13-15	2-5	78.65 ± 0.72d	95.20 ± 0.05e	96.75 ± 0.02
		7-10	75.82 ± 0.49e	96.31 ± 0.05d	97.18 ± 0.07
160	8-10	2-5	84.88 ± 0.69c	96.71 ± 0.03b	97.31 ± 0.15
		7-10	83.75 ± 0.59c	96.55 ± 0.02c	97.40 ± 0.07
	13-15	2-5	91.96 ± 0.22a	96.80 ± 0.02f	97.75 ± 0.04
		7-10	88.65 ± 0.55b	97.02 ± 0.04a	97.97 ± 0.05
Önemlilik			<0.01	<0.01	0.455

Çizelge 4.16 incelendiğinde, briketlenen materyallerin düşme-dayanıklılık dirençleri üzerinde etkili olan üç farklı parametrenin fındık zurufu ve ayçiçeği sapı tarımsal artıklarından elde edilen briketlerin düşme-dayanıklılık dirençleri üzerindeki etkisinin önemli olduğu ($P<0.01$) tespit edilmiştir. Ancak, bu üç farklı parametre ile elde edilen mısır atığı briketlerinin düşme-dayanıklılık dirençleri arasındaki fark önemsiz bulunmuştur. Sıkıştırma basınçları ve materyal nem içeriği değerleri arttıkça tüm materyallerde briketlerin düşme-dayanıklılık direnci artmıştır. Ancak, parçacık boyutu değerleri arttıkça fındık zurufundan elde edilen briketlerde düşme-dayanıklılık dirençleri azalmış, diğer iki materyalde ise öğütme inceliği değerleri arttıkça düşme-dayanıklılık dirençleri artmıştır.

En yüksek düşme-dayanıklılık dirençleri fındık zurufu briketleri için, 160 MPa sıkıştırma basıncı, %13-15 nem içeriği ve 2-5 mm parçacık boyutunda elde edilmiştir. Ayçiçeği sapı briketleri için ise 160 MPa sıkıştırma basıncı, %13-15 nem içeriği ve 7-10 mm parçacık boyutunda belirlenmiştir. Mısır sapı briketlerinin düşme-dayanıklılık dirençleri diğer iki materyalden elde edilen briketlere göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Sonuçlar değerlendirildiğinde, ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal artıklarından üretilen briketlerin mekanik dayanıklılık değerleri, odun talaşı briketleri için geliştirilmiş olan EN 14961-3 nolu AB standardında verilen ($\leq \%95$) mekanik dayanım kriterine uygun olduğu görülmüştür. Fındık zurufu tarımsal artığından üretilen briketlerde bu mekanik dayanıklılık standartı sağlanamadığı görülmüştür. Ancak, bu AB standardı tarımsal artık materyallerini kapsamamaktadır. Bu nedenle, katı biyoyakıt özelliği olan tarımsal artıklar için de bu tarz briket standartlarının geliştirilmesinin önemli olduğu düşünülmektedir.

Farklı parametrelere bağlı olarak üretilen briketlerinin düşme-dayanıklılık direnci test sonrası görünüşleri Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

M: %8-10	
 PB: 2-5 mm P: 50 bar	 PB: 2-5 mm P: 100 bar
 PB: 7-10 mm P: 50 bar	 PB: 7-10 mm P: 100 bar
M: %13-15	
 PB: 2-5 mm P: 50 bar	 PB: 2-5 mm P: 100 bar
 PB: 7-10 mm P: 50 bar	 PB: 7-10 mm P: 100 bar

Şekil 4.4. FZ briketlerinin düşme-dayanıklılık direnci testi sonrası görünüşleri

M: %8-10	
 PB: 2-5 mm P: 50 bar	 PB: 2-5 mm P: 100 bar
 PB: 7-10 mm P: 50 bar	 PB: 7-10 mm P: 100 bar
M: %13-15	
 PB: 2-5 mm P: 50 bar	 PB: 2-5 mm P: 100 bar
 PB: 7-10 mm P: 50 bar	 PB: 7-10 mm P: 100 bar

Şekil 4.5. AS briketlerinin düşme-dayanıklılık direnci testi sonrası görünüşleri

M: %8-10	
 PB: 2-5 mm P: 50 bar	 PB: 2-5 mm P: 100 bar
 PB: 7-10 mm P: 50 bar	 PB: 7-10 mm P: 100 bar
M: %13-15	
 PB: 2-5 mm P: 50 bar	 PB: 2-5 mm P: 100 bar
 PB: 7-10 mm P: 50 bar	 PB: 7-10 mm P: 100 bar

Şekil 4.6. MS briketlerinin düşme-dayanıklılık direnci testi sonrası görünüşleri

Düşme-dayanıklılık direnci testi denemeleri sonrasında briketlerin görünüşleri incelendiğinde, en yüksek düşme-dayanıklılık direncini, sonuçlara paralel olarak mısır sapı briketlerinin sağladığı görülmüştür (Şekil 4.6). Fındık zurufu briketlerinde ise test sonrasında kırılma ve parçalanmanın daha fazla olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Tüm briketler incelendiğinde, test sonrasında briketlerin özellikle orta ve uç kısımlarında bir ayrılma olduğu, bunun sebebinin ise makinenin materyal beslemesine

bağlı olarak gerçekleştiği düşünülmektedir. Makinenin materyal besleme işleminden sonra sıkıştırma işlemine başlaması ve bitirmesi işlemi sonucunda, elde edilen briketlerde katmansal bir tabaka oluşmuştur. Oluşan bu tabakaların bağlantı yerlerinde, bu test sonrasında kırılmalar meydana getirmiştir. En yüksek düşme-dayanıklılık direnci test sonrası görünümüler incelendiğinde tüm briketlerde 160 MPa sıkıştırma basıncı altında elde edilen briketlerde gerçekleşmiştir.

4.2.4 Kırılma direnci (shatter indeksi)

Uygulanan bu test ile briketlerin yüksek bir yerden boşaltılacağı durumlar için, kırılmaya karşı göstereceği direnç ölçülmeye çalışılmıştır. Fındık zurufu, ayçiçeği ve mısır sapı artıklarından elde edilen briketlerin kırılma dirençlerinin belirlenmesi amacıyla briketler 1 m yükseklikten yerçekimi kuvvetinin etkisiyle düz bir zemine 10 kez düşürülmüşlerdir. Elde edilen kırılma direnci değerleri ve varyans analiz sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Sıkıştırma basıncının kırılma direncine etkisi

P (MPa)	Kırılma direnci (%)		
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
	FZ	AS	MS
80	87.56 $\pm$ 0.80	98.73 $\pm$ 0.18	99.47 $\pm$ 0.08
160	94.88 $\pm$ 0.71	99.26 $\pm$ 0.09	99.63 $\pm$ 0.07
Önemlilik	<0.01	<0.01	<0.01

Materyallerin kırılma direnci için ayrı ayrı yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda, 80 ve 160 MPa sıkıştırma basınçları altında elde edilen briketler arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). 160 MPa sıkıştırma basıncı altında elde edilen briketlerin kırılma direnci 80 MPa basınç altında elde edilen briketlerin dirençlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Briketleme basıncı yükseldikçe, briketlerin sağlamlığı artmaktadır. Fındık zurufundan elde edilen briketlerin kırılma direnci mısır ve ayçiçeği sapı tarımsal artıklarından elde edilen briketlerin dirençlerinden daha düşük çıkmıştır, fakat ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal artıklarından elde edilen briketlerin kırılma dirençleri arasında çok fark olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ayçiçeği ve mısır sapı artıklarının lifli bir yapıya sahip olmalarından dolayı aynı basınç altında fındık zurufuna göre daha iyi sıkıştırılabilmeleridir. Kırılmaya karşı en sağlam briketler mısır sapı artıklarından elde edilmiştir.

İki farklı sıkıştırma basıncında ve iki farklı parçacık boyutunda elde edilen briketlerin kırılma direnci değişimi Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Nem içeriğinin kırılma direncine etkisi

M (%)	Kırılma direnci (%)		
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
	FZ	AS	MS
8-10	86.49 $\pm$ 0.56	98.76 $\pm$ 0.18	99.40 $\pm$ 0.09
13-15	95.95 $\pm$ 0.44	99.23 $\pm$ 0.11	99.71 $\pm$ 0.02
Önemlilik	<0.01	<0.01	<0.01

Materyallerin nem içerikleri arttıkça kırılma direnci değerlerinde de bir artış gözlenmiştir. Bunun nedeni, odunsu ve lifli yapıya sahip daha nemli materyalin yüksek basınç altında birbirlerine daha iyi yapışmaları şeklinde yorumlanabilir. Materyaller için yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda %8-10 ve %13-15 nem içeriği değerlerinde elde edilen briketlerin kırılma dirençleri arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). Fındık zurufundan elde edilen briketlerin nem içeriklerine bağlı olarak tespit edilen kırılma dirençlerinin diğer iki materyalden elde edilen briketlerin dirençlerinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Materyal parçacık boyutuna bağlı olarak fındık zurufu, ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal artıklarından iki farklı sıkıştırma basıncında ve iki farklı parçacık boyutunda elde edilen briketlerin kırılma direnci varyans analiz sonuçları Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Parçacık boyutunun kırılma direncine etkisi

PB (mm)	Kırılma direnci (%)		
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
	FZ	AS	MS
2-5	91.27 $\pm$ 1.68	98.84 $\pm$ 0.19	99.43 $\pm$ 0.09
7-10	91.17 $\pm$ 1.82	99.16 $\pm$ 0.12	99.68 $\pm$ 0.03
Önemlilik	0.947	<0.01	<0.01

Her bir materyal için ayrı ayrı yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda, 2-5 mm ve 7-10 mm parçacık boyutu değerlerinde elde edilen briketlerin kırılma direnci arasındaki fark fındık zurufu briketleri için önemsiz olarak bulunmuşken, diğer iki tarımsal artık için önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Ayçiçeği ve mısır sapı artıklarından elde edilen briketlerin kırılma direnci öğütme inceliği arttıkça artmıştır. Fındık zurufu odunsu bir yapıya sahip olduğu için daha büyük parçacık boyutunda briketler daha kırılğan olmaktadır.

Çizelge 4.20. Farklı P, M ve PB parametrelerin etkisi altında briketlerin kırılma direnci değişimleri

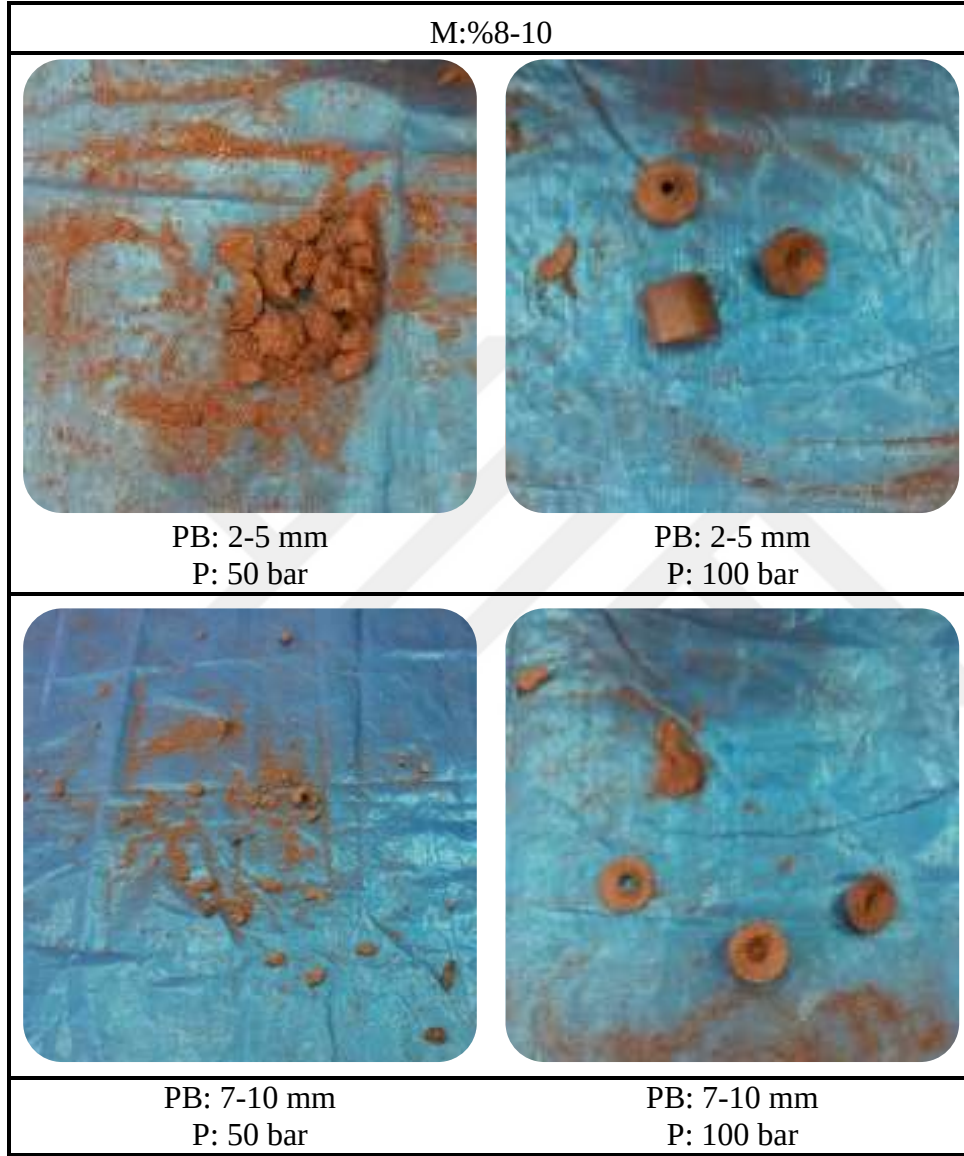
Kırılma direnci (%)					
P (MPa)	M (%)	PB (mm)	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
			FZ	AS	MS
80	8-10	2-5	83.04 ± 3.11	97.84 ± 0.07d	99.02 ± 0.05e
		7-10	76.20 ± 3.80	98.71 ± 0.02c	99.58 ± 0.06c
	13-15	2-5	95.19 ± 0.30	99.56 ± 0.02a	99.68 ± 0.03abc
		7-10	95.81 ± 0.67	98.82 ± 0.04bc	99.62 ± 0.01bc
160	8-10	2-5	91.65 ± 1.13	98.99 ± 0.04b	99.27 ± 0.01d
		7-10	95.08 ± 0.91	99.50 ± 0.02a	99.73 ± 0.04abc
	13-15	2-5	95.20 ± 0.22	98.95 ± 0.03b	99.74 ± 0.00ab
		7-10	97.58 ± 0.35	99.60 ± 0.03a	99.80 ± 0.00a
Önemlilik			0.181	<0.01	<0.05

Çizelge 4.20 incelendiğinde, briketlenen materyallerin kırılma direnci üzerinde etkili olan üç farklı parametrenin sadece ayçiçeği tarımsal artıklarından elde edilen briketlerin kırılma direnci üzerindeki etkisinin önemli olduğu ($P<0.01$) tespit edilmiştir. Ancak, bu üç farklı parametre ile elde edilen fındık zurufu ve mısır sapı atığı briketlerinin kırılma direnci arasındaki fark önemsiz bulunmuştur. Sıkıştırma basınçları arttıkça tüm materyallerde briketlerin kırılma direnci artmıştır. Aynı şekilde materyal nem içeriği değerleri arttıkça kırılma direnci artmıştır. Fakat parçacık boyutu değerleri arttıkça daha düşük basınç ve nem içeriği değerlerinde fındık zurufundan elde edilen briketlerin kırılma direncinin belirgin bir şekilde azaldığı görülmüştür.

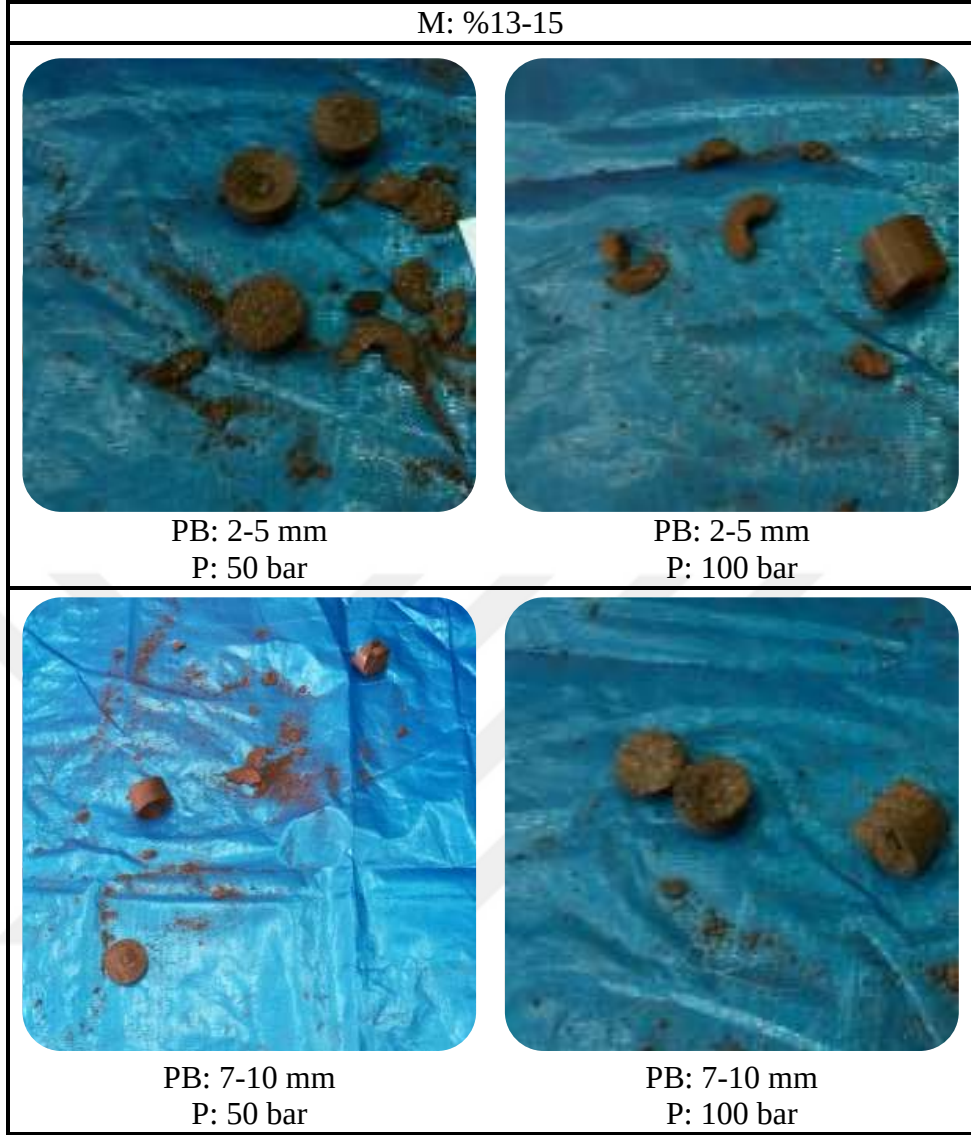
Ayçiçeği sapı briketlerinde 80 MPa sıkıştırma basıncı %13-15 nem içeriği, 2-5 mm parçacık boyutu, 160 MPa sıkıştırma basıncı, %8-10 nem içeriği, 7-10 mm parçacık boyutu ve 160 MPa sıkıştırma basıncı, %13-15 nem içeriği, 7-10 mm parçacık boyutunda elde edilen kırılma dirençleri arasındaki fark önemsiz bulunmuş ve bu parametrelere bağlı olarak belirlenen kırılma direnci değerleri en yüksektir.

Mısır sapı briketleri için en yüksek kırılma direnci değeri 160 MPa sıkıştırma basıncı, %13-15 nem içeriği, 7-10 mm parçacık boyutunda belirlenmiştir.

Kırılma direnci testi uygulandıktan sonra briketlerin görünümleri Şekil 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12’de verilmiştir.



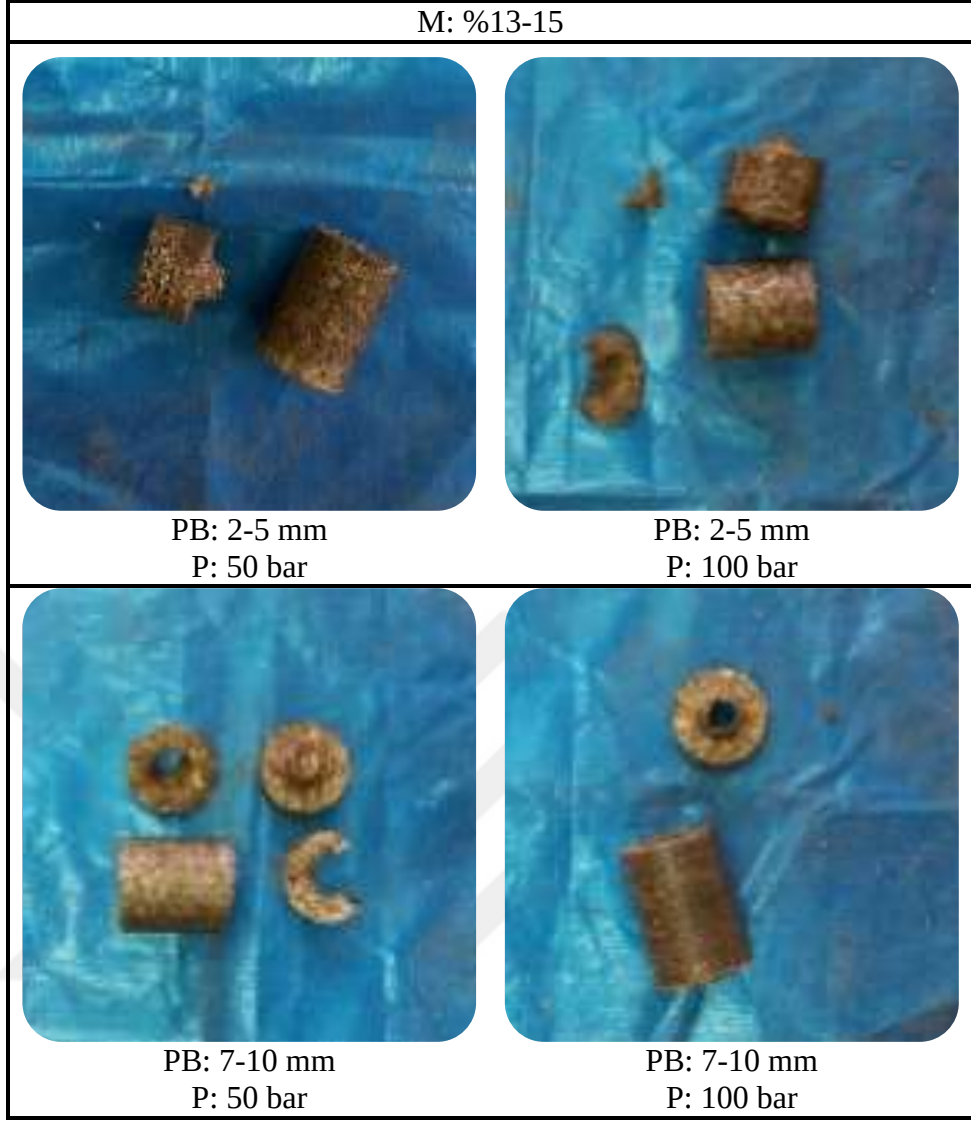
Şekil 4.7. FZ briketlerinin kırılma direnci testi sonrası görünümleri (M:%8-10)



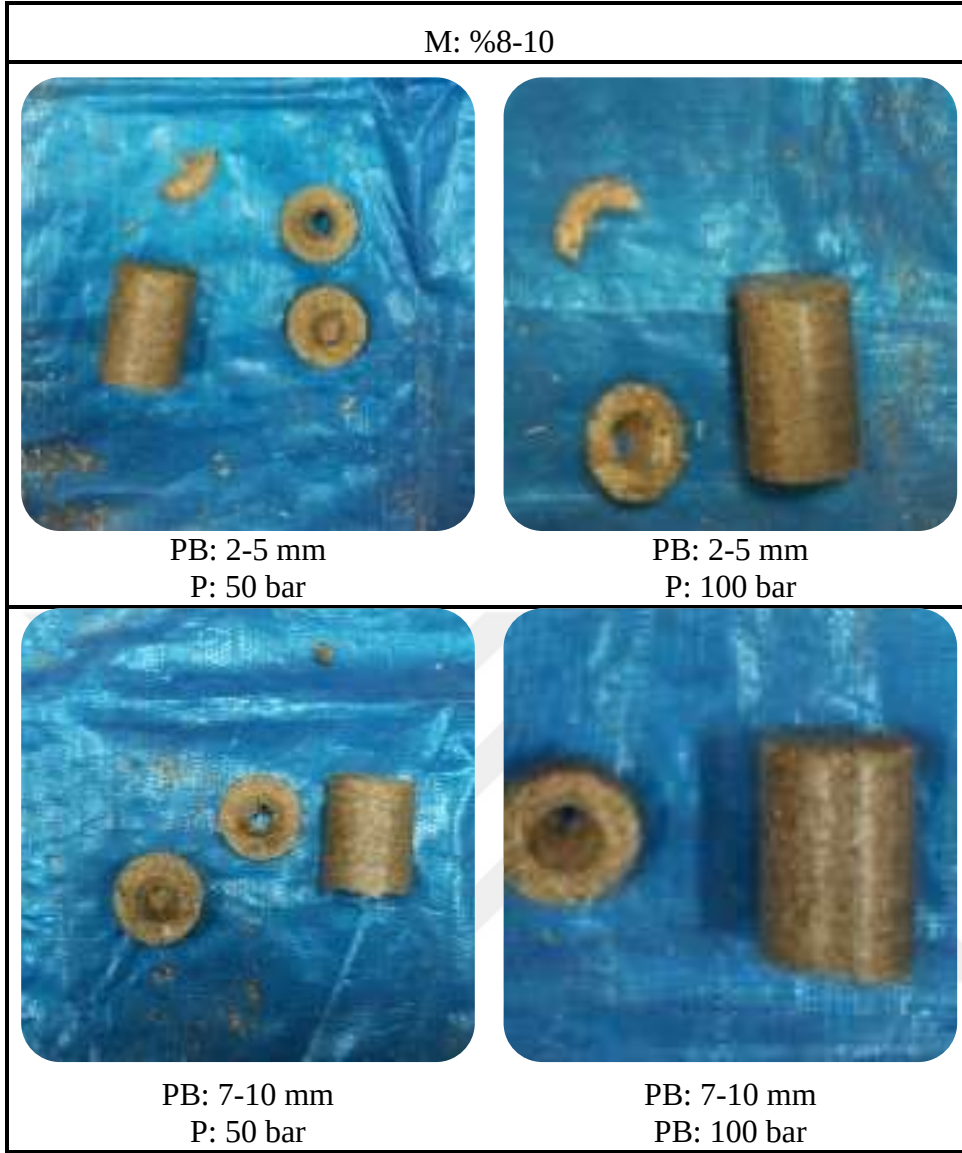
Şekil 4.8. FZ briketlerinin kırılma direnci testi sonrası görünüşleri (M:%13-15)



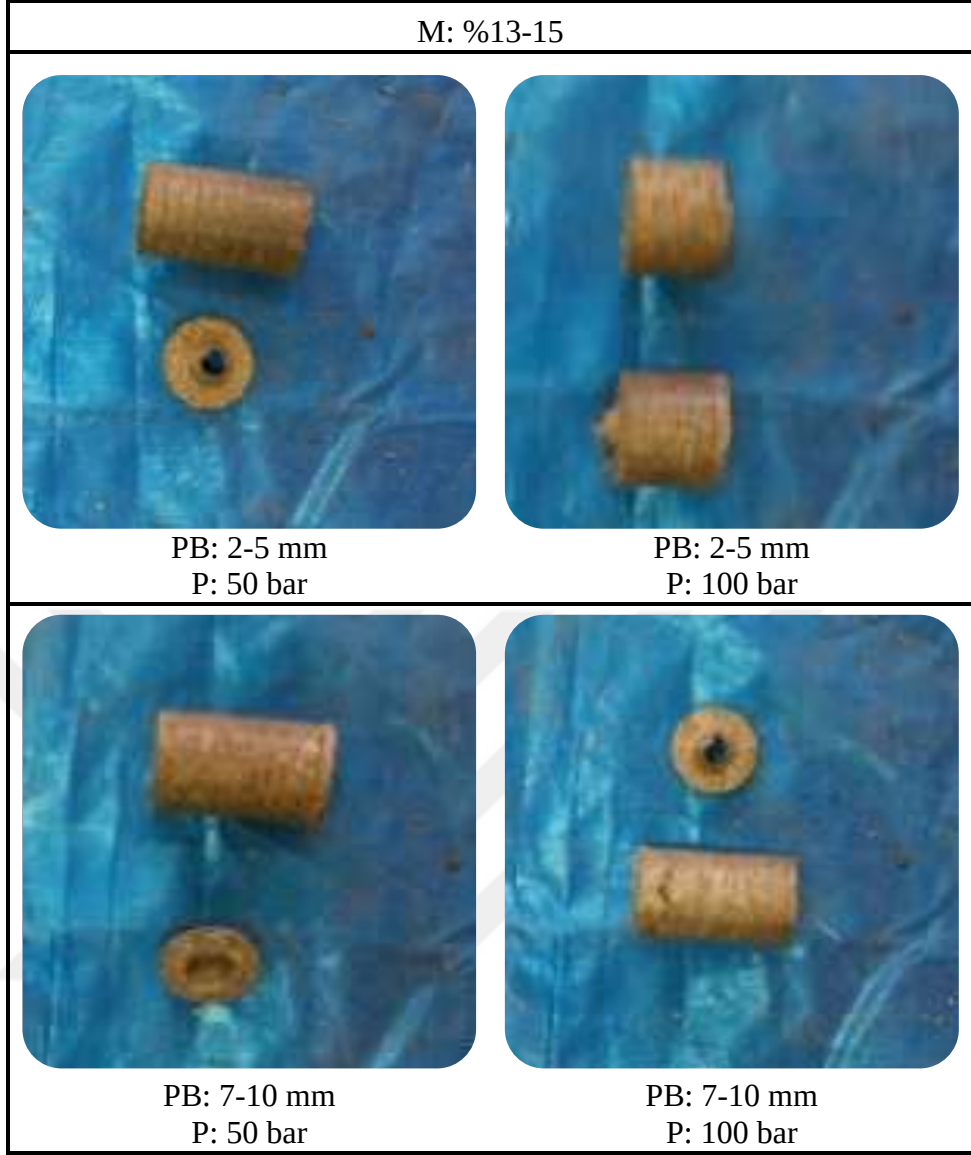
Şekil 4.9. AS briketlerinin kırılma direnci testi sonrası görünümleri (M:%8-10)



Şekil 4.10. AS briketlerinin kırılma direnci testi sonrası görünüşleri (M:%13-15)



Şekil 4.11. MS briketlerinin kırılma direnci testi sonrası görünüşleri (M:%8-10)



Şekil 4.12. MS briketlerinin kırılma direnci testi sonrası görünüşleri (M:%13-15)

Briketlere uygulanan kırılma direnci testi sonrasında görünüşleri incelendiğinde, en yüksek kırılma direncini mısır sapı tarımsal artıklarından üretilen briketlerde sağlandığı görülmüştür (Şekil 4.9). Tüm briketler incelendiğinde yine materyal besleme ve kesikli sıkıştırma işlemine bağlı olarak meydana gelen kırılmalar uç ve orta kısımlarda tabakalar halinde meydana gelmiştir.

4.2.5 Su alma kapasitesi

Briketlerin fazla su emmesi, yanma özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Briketlerin suya dayanıklılıkları az ise, muhafaza altına alınarak dikkatle korunması gereklidir. Sıkıştırma basınçlarına bağlı olarak fındık zurufu, ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal artıklarından iki farklı nem içeriğinde ve iki farklı parçacık boyutunda elde edilen briketlerin 1. ve 2. dakikadaki su alma dirençleri Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Sıkıştırma basıncının su alma direncine etkisi

$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$						
P (MPa)	1. dakika			2. dakika		
	FZ	AS	MS	FZ	AS	MS
80	19.83 $\pm$ 1.42	12.83 $\pm$ 0.57	28.86 $\pm$ 0.97	26.63 $\pm$ 3.67	16.77 $\pm$ 0.93	37.4 $\pm$ 1.58
160	15.37 $\pm$ 1.83	9.41 $\pm$ 0.40	21.2 $\pm$ 1.17	26.38 $\pm$ 3.17	11.95 $\pm$ 0.54	27.66 $\pm$ 1.70
Önemlilik	<0.01	<0.01	<0.01	0.799	<0.01	<0.01

80 ve 160 MPa sıkıştırma basınçları altında için elde edilen briketlerin su alma kapasiteleri arasındaki fark 1. dakika için önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). Ancak, 2. dakika sonundaki su alma kapasiteleri arasındaki farklar fındık zurufu briketi hariç diğer materyallerde önemli bulunmuştur. Briketlerin 160 MPa sıkıştırma basıncı altında 1. ve 2. dakika sonunda 80 MPa sıkıştırma basıncında elde edilen briketlere göre daha az su aldıkları gözlemlenmiştir. Daha yüksek sıkıştırma basıncı altında briketler daha iyi sıkıştıkları için briket içerisine su sızması daha az olmuştur. Farklı uygulamalar sonucu elde edilen briketlerin tamamı incelendiğinde ayçiçeği bitkisi artıklarından elde edilen briketlerin su alma kapasitelerinin fındık zurufu ve mısır atığı briketlerine göre her zaman daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. 1. ve 2. dakika sonundaki en fazla su alma mısır sapı atığından elde edilen briketlerde gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.22. Nem içeriğinin su alma kapasitesine etkisi

	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$					
	1. dakika			2. dakika		
M (%)	FZ	AS	MS	FZ	AS	MS
8-10	26.04 $\pm$ 0.70	10.89 $\pm$ 0.89	22.6 $\pm$ 1.53	38.22 $\pm$ 0.37	13.92 $\pm$ 0.34	28.44 $\pm$ 1.78
13-15	9.16 $\pm$ 0.36	11.36 $\pm$ 0.47	27.46 $\pm$ 1.26	14.79 $\pm$ 0.53	14.8 $\pm$ 0.61	36.61 $\pm$ 1.87
Önemlilik	<0.01	0.094	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01

Çizelge 4.22 incelendiğinde, sadece ayçiçeği atığından elde edilen briketlerde nem içeriğine bağlı olarak briketlerin su alma kapasiteleri 1. dakika sonunda istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur. 2. dakika sonunda ise ($P < 0.05$) de önemli bulunmuştur. Her üç materyalden elde edilen briketler incelendiğinde daha düşük nem içeriği değerlerinde findık zurufu briketlerinin su alma kapasiteleri daha yüksek çıkmıştır. Yani briketler daha kuru oldukları için daha fazla su almışlardır. Ancak, bu durum ayçiçeği ve mısır sapından elde edilen briketlerde söz konusu değildir. Daha kuru olan briketler içerisinde findık zurufundan elde edilen briketler diğer iki farklı materyalden elde edilen briketlere göre her iki uygulama sonucunda hep daha fazla su almıştır. Bunun nedeni olarak, ayçiçeği ve mısır artıklarından elde edilen briketlerin hacim ağırlıkları findık zurufu briketlerine göre daha yüksek olduğundan, suyun briketlerin içine nüfus etmesi daha yavaş gerçekleşmiştir ve daha düşük nem içeriği değerlerinde ayçiçeği ve mısır sapı artıklarından elde edilen briketlerin su alma kapasiteleri daha düşük çıkmıştır şeklinde yorumlanabilir.

Parçacık boyutuna bağlı olarak findık zurufu, ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal artıklarından iki farklı nem içeriğinde ve iki farklı parçacık boyutunda elde edilen briketlerin 1. ve 2. dakikadaki su alma kapasiteleri varyans analiz sonuçları Çizelge 4.23’de verilmiştir.

Çizelge 4.23. Parçacık boyutunun su alma kapasitesine etkisi

$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$						
1. dakika				2. dakika		
PB (mm)	FZ	AS	MS	FZ	AS	MS
2-5	17.04 ± 2.39	11.37 ± 0.49	26.92 ± 1.71	24.33 ± 2.65	14.30 ± 0.74	35.13 ± 1.54
7-10	18.17 ± 3.20	10.87 ± 0.88	23.14 ± 1.19	28.68 ± 2.79	14.41 ± 1.29	29.92 ± 1.42
Önemlilik	0.158	0.073	<0.01	<0.01	0.723	<0.01

İki farklı parçacık boyutu için mısır sapından elde edilen briketlerin su alma kapasiteleri arasındaki fark 1. ve 2. dakika için önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). 2. dakika sonundaki su alma kapasiteleri arasındaki farklar ayçiçeği sapı briketi için önemsiz bulunmuştur. Mısır sapı briketleri için öğütme inceliği arttıkça su alma kapasitesi 1. ve 2. dakika sonunda azalmıştır. Fındık zuru briketlerinde ise bu durum tam tersi olup öğütme inceliği arttıkça su alma kapasitesi artmıştır. Ayçiçeği sapından yapılan briketlerde ise 1. dakika sonunda öğütme inceliği artınca su alma kapasitesi istatistiksel açıdan önemsiz olarak azalmıştır, 2. dakika sonunda ise istatistiksel açıdan önemsiz olarak artmıştır.

Sıkıştırma basıncı, nem içeriği ve parçacık boyutu parametrelerinin her bir materyal üzerindeki etkileri istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve elde edilen varyans analiz sonuçları Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Briketlerin 2. dakika su alma kapasitelerindeki değişim

Su alma kapasitesi (2. Dakika)					
P (MPa)	M (%)	PB (mm)	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
			FZ	AS	MS
80	8-10	2-5	37.00 ± 0.57b	13.75 ± 0.68c	36.19 ± 0.84
		7-10	40.11 ± 0.88b	21.07 ± 0.24a	31.89 ± 1.10
	13-15	2-5	15.73 ± 0.65d	18.00 ± 0.60b	45.71 ± 0.81
		7-10	13.69 ± 0.60d	14.24 ± 0.46c	35.81 ± 0.77
160	8-10	2-5	27.59 ± 1.09c	11.46 ± 0.32d	22.34 ± 0.52
		7-10	48.18 ± 1.43a	9.39 ± 0.34e	23.36 ± 0.11
	13-15	2-5	17.02 ± 0.39d	14.00 ± 0.19c	36.29 ± 1.21
		7-10	12.72 ± 0.32d	12.95 ± 0.46c	28.65 ± 0.82
Önemlilik			<0.01	<0.01	0.213

2. dakika su alma kapasiteleri Çizelge 4.26 incelendiğinde; sıkıştırma basıncı, nem içeriği ve parçacık boyutu parametrelerinin sadece mısır sapı briketlerinde önemsiz olduğu belirlenmiştir. 2. dakika su alma kapasitesinin fındık zurufu ve ayçiçeği sapı briketleri üzerinde etkisinin önemli olduğu ($P<0.01$) tespit edilmiştir. Su alma kapasitesinin en düşük değeri 160 MPa sıkıştırma basıncı altında %8-10 nem içeriğinde ve 7-10 mm parçacık boyutunda ayçiçeği bitkisi briketlerinden %9.39 olarak tespit edilmiştir. Su alma kapasitesi testi sonuçlarına göre ayçiçeği sapı bitkisinden elde edilen briketlerin diğer iki materyale göre daha az su aldığı belirlenmiştir. Su alma kapasitesi denemelerinde kullanılan tüm materyallerde belirli bir süre sonra bütün briketlerin suyun etkisi ile tamamen parçalandığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.13, 4.14, 4.15).



M: %8-10	
 PB: 2-5 mm P: 50 bar	 PB: 2-5 mm P: 100 bar
 PB: 7-10 mm P: 50 bar	 PB: 7-10 mm P: 100 bar
M: %13-15	
 PB: 2-5 mm P: 50 bar	 PB: 2-5 mm P: 100 bar
 PB: 7-10 mm P: 50 bar	 PB: 7-10 mm P: 100 bar

Şekil 4.13. FZ briketlerinin 2. dakika sonrası su alma kapasitesi testi sonrası görünümleri

M: %8-10	
 PB: 2-5 mm P: 50 bar	 PB: 2-5 mm P: 100 bar
 PB: 7-10 mm P: 50 bar	 PB: 7-10 mm P: 100 bar
M: %13-15	
 PB: 2-5 mm P: 50 bar	 PB: 2-5 mm P: 100 bar
 PB: 7-10 mm P: 50 bar	 PB: 7-10 mm P: 100 bar

Şekil 4.14. AS briketlerinin 2. dakika sonrası su alma kapasitesi testi sonrası görünümleri

M: %8-10	
 PB: 2-5 mm P: 50 bar	 PB: 2-5 mm P: 100 bar
 PB: 7-10 mm P: 50 bar	 PB: 7-10 mm P: 100 bar
M: %13-15	
 PB: 2-5 mm P: 50 bar	 PB: 2-5 mm P: 100 bar
 PB: 7-10 mm P: 50 bar	 PB: 7-10 mm P: 100 bar

Şekil 4.15. MS briketlerinin 2. dakika sonrası su alma kapasitesi testi sonrası görünümleri

Elde edilen briketlerin su alma kapasitelerine bağı olarak test sonrasında görünümleri incelendiğinde, en fazla mısır sapından elde edilen briketlerin su aldıkları görülmüştür (Şekil 4.10). 80 MPa sıkıştırma basıncı altında üretilen fındık zurufu briketlerinin 2. dakika sonrasında neredeyse tamamen dağıldığı ve su alma kapasitelerinin 160 MPa sıkıştırma basıncında elde edilen briketlerden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Mısır sapı tarımsal artıklarından 80 MPa basınç altında %13-15 nem içeriğinde elde edilen briketlerde de su alma kapasite değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiş fakat, fındık zurufu briketlerinde görülen dağılma problemi yaşanmamıştır. Öğütülen materyallerin sıkıştırma işlemine bağı olarak gözeneklilik miktarının artması bu durumu gerçekleştirmiştir. Bu test sonrasında en az su alma kapasitesinin ayçiçeği sapı briketlerinde olduğu ve bu durumu fındık zurufu briketlerinin izlediği görülmüştür (Şekil 4.11, 4.12). Ayrıca, tüm briketlerde 4-6 dakikalık bir süre sonrasında, briketler özelliklerini tamamen kaybetmiş ve dağıldıkları gözlemlenmiştir.

4.2.6 Hava nemi direnci

Fındık zurufu, ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal artıklarından farklı muameleler sonucu üretilen briketlerin, kapalı ortamda bekletildikten sonra ağırlıklarındaki değişim miktarlarına bağı olarak hesaplanan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.25, 4.26, 4.27 ve 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.25. Sıkıştırma basıncının hava nemi direncine etkisi

$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$			
P (MPa)	FZ	AS	MS
80	2.46 ± 1.36	-2.17 ± 0.85	-2.19 ± 0.64
160	2.50 ± 1.18	-2.18 ± 0.86	-1.96 ± 0.53
Önemlilik	0.839	0.927	<0.01

Çizelge 4.25’de, briketlerin muhafaza şartlarına bağı olarak ayçiçeği ve mısır sapı briketlerinde kuruma olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, fındık zurufu briketlerinde her iki sıkıştırma basıncında elde edilen briketler için ortamdan nem alma durumu söz konusu olmuş ve istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur. Her iki sıkıştırma basıncı için alınan nem benzerdir yani sıkıştırma basıncının briket hava nemi direncine etkisi pek yoktur. Ayçiçeği sapı artıklarından iki farklı basınç altında üretilen briketlerde 21.

gün sonunda bir kuruma görülmüş ancak iki muamele arasındaki hava nemi dirençleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur. Çalışılan materyallerde yalnız mısır sapı artıklarından iki farklı sıkıştırma basıncı altında üretilen briketlerin hava nemi dirençleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır ($P<0.01$).

Materyal nem içeriklerine bağlı olarak fındık zurufu, ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal artıklarından iki farklı sıkıştırma basıncında ve iki farklı parçacık boyutunda elde edilen briketlerin hava nemi dirençleri arasındaki varyans analiz sonuçları Çizelge 4.26’da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Nem içeriğinin hava nemi direncine etkisi

M (%)	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
	FZ	AS	MS
8-10	6.61 ± 0.31	0.23 ± 0.02	-0.19 ± 0.04
13-15	-1.66 ± 0.17	-4.58 ± 0.65	-3.97 ± 0.18
Önemlilik	<0.01	<0.01	<0.01

%8-10 ve %13-15 nem içeriği değerlerinde elde edilen briketlerin hava nemi dirençleri arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Çizelge 4.26 incelendiğinde materyallerin nem içeriklerine bağlı olarak, beklenildiği gibi yüksek nem içeriğine sahip briketlerde en fazla ayçiçeği sapı briketi olmak üzere kuruma meydana gelmiştir. Düşük nem içeriğinde ise sadece mısır bitkisi briketlerinde kuruma olduğu tespit edilmiştir. Briket nem içeriği değerlerindeki değişimin her üç üründe de hava nemi direnci üzerinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Parçacık boyutuna bağlı olarak her bir materyale ait hava nemi direnci değişimi Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Parçacık boyutunun hava nemi direncine etkisi

PB (mm)	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
	FZ	AS	MS
2-5	2.54 ± 1.20	-3.21 ± 1.06	-2.34 ± 0.64
7-10	2.41 ± 1.34	-1.14 ± 0.40	-1.82 ± 0.51
Önemlilik	0.492	<0.01	<0.01

2-5 ve 7-10 mm parçacık boyutunda fındık zurufundan elde edilen briketlerin hava nemi direnci arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Yani parçacık boyutunun briketin hava nemi değerleri üzerinde bir etkisi yoktur. Ancak, diğer iki materyalden elde edilen briketler için bu durum söz konusu değildir. Düşük öğütme inceliğinde ayçiçeği ve mısır saplarından elde edilen briketlerde ortam koşullarına bağlı olarak daha fazla kuruma gerçekleşmiştir. En fazla kuruma 2-5 mm inceliğinde öğütülmüş ayçiçeği sapından yapılan briketlerde gözlemlenmiştir.

Sıkıştırma basıncı, nem içeriği ve parçacık boyutu parametrelerinin her bir materyal üzerindeki etkileri Çizelge 4.28 incelendiğinde, üç farklı parametrenin fındık zurufu tarımsal artıklarından elde edilen briketlerin hava nemi direnci üzerindeki etkisinin önemli olduğu ($P<0.01$) tespit edilmiştir.

Çizelge 4.28. Briketlerin hava nem içeriği değerlerindeki değişim

P (MPa)	M (%)	PB (mm)	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$		
			FZ	AS	MS
80	8-10	2-5	$5.90 \pm 0.10c$	0.30 ± 0.04	-0.05 ± 0.01
		7-10	$7.88 \pm 0.56a$	0.20 ± 0.01	-0.15 ± 0.01
	13-15	2-5	$-2.04 \pm 0.19e$	-6.64 ± 0.34	-4.69 ± 0.11
		7-10	$-1.91 \pm 0.05e$	-2.53 ± 0.08	-3.89 ± 0.01
160	8-10	2-5	$7.06 \pm 0.22b$	0.28 ± 0.00	-0.38 ± 0.00
		7-10	$5.62 \pm 0.14c$	0.15 ± 0.01	-0.16 ± 0.00
	13-15	2-5	$-0.76 \pm 0.26d$	-6.76 ± 0.14	-4.23 ± 0.04
		7-10	$-1.93 \pm 0.09e$	-2.38 ± 0.11	-3.09 ± 0.09
Önemlilik			<0.01	0.445	0.844

Briketlerin hava nemi direnci muhafaza edildikleri ortam koşullarından etkilenmektedir. %40-70 bağıl nem koşullarında en uygun hava nemi direncine sahip briketler elde edildiği ve ham materyal ile karşılaştırıldıklarında, elde edilen briketlerin, yüksek nem içeriklerinde depolanmasında herhangi bir problem oluşturmayacağı belirlenmiştir (Vyas ve diğ., 2015). Genel olarak her üç materyal içinde yüksek nem içeriğinde, ortam koşullarına bağlı olarak dış ortama nem verdikleri için bir kuruma meydana gelmişken düşük nem içeriklerinde ortamdaki nem alma durumu oluşmuştur. Fındık zurufundan üretilen briketlerde en iyi hava nemi direnci (% -0.76 ± 0.26) 160 MPa sıkıştırma basıncında %13-15 nem içeriğinde ve 2-5 mm parçacık boyutu değerlerinde belirlenmiştir. Ayçiçeği ve mısır sapından üretilen briketlerde ise en iyi değerler sırasıyla % 0.15 ± 0.01 ve % -0.05 ± 0.01 olarak gerçekleşmiştir.

Briketlerin nem içeriği değerlerine bağı olarak 21 gün oda şartlarında bekletildikten sonra görünümüleri Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.16. Briketlerin 21 gün bekletildikten sonra görünümüleri

Elde edilen briketlerin 21 gün süreyle oda şartlarında bekletilmesinden sonraki görünümüleri incelendiğinde, mısır ve ayçiçeği sapı briketlerinin daha sağlam bir yapı sergilediği gözlemlenmiştir. 21 gün süre sonrasında özellikle briketlerin üretim özelliklerine bağı olarak oluşan tabakalar arasında kuruma ve nem alma durumuna bağı olarak ayrılmalr meydana gelmiştir. Bu durum en fazla fındık zurufu briketlerinde gerçekleşmiştir (Şekil 4.16). Ayrıca bir yılın sonunda yapılan gözlemler sonucunda üretilen briketlerde herhangi bir mantarlaşma ve küflenme olmadığı görülmüştür.

4.3 Briketlerin Baca Gazı Emisyon Değerleri

Birçok ülkede ısınma gereksinimleri için kömür çok ciddi bir hava kirliliğine sebep olmaktadır. Yakma sistemlerinde kullanılan petrol kaynaklı yakıtlar yüksek seviyelerde SO_x, NO_x ve CO₂ emisyonlarına neden olmaktadır (Ross ve diğ., 2002). Biyokütleden elde edilen yakıtlar yakma sistemlerinde kömür yerine kullanılarak yüksek miktarda açığa çıkan bu emisyon değerleri azaltılabilmektedir.

Elde edilen briketler için baca gazı emisyon değerleri ölçümleri öncesinde, tüm briket özelliklerinin kontrol edilebilmesi için briketler özel bir film malzemesi ile sarılmış ve dış ortam koşullarından hava ve nem alması engellenmiştir. Briketlerin yakılmasında, evlerde ve küçük işletmelerde kullanılan şömine tipi briket sobası kullanılmıştır. Briketlerin soba içerisinde tutuşmasıyla birlikte O₂ seviyesinin azaldığı ve CO₂ ve CO emisyonlarının hızlı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Başlangıçta bu gazlar için emisyon değerlerinde önemli artışlar meydana gelmiştir. Soba içerisinde yanma işleminin yavaş yavaş kararlı duruma gelmesiyle ve O₂ seviyesinin artmasıyla birlikte emisyon değerlerinde düşüşler olmaya başlamıştır. Bunun sebebi bu tip yakma sistemlerinde, yakıt-hava karışımının kontrol edilememesinden kaynaklanmaktadır. Elde edilen emisyon değerleri sonuçlarının Bignal ve diğ. (2008) ve Schmidl ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmalardaki değerlere yakın olduğu belirlenmiştir.

Farklı sıkıştırma basınçlarında, farklı nem içeriklerinde ve farklı parçacık boyutlarında elde edilen briketler için ölçülen en yüksek emisyon değerleri Çizelge 4.29 ve 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.29. 80 MPa sıkıştırma basıncında briketler için ölçülen en yüksek baca gazı emisyon değerleri

M: %8-10							M: %13-15					
PB: 2-5 mm			PB: 7-10 mm				PB: 2-5 mm			PB: 7-10 mm		
FZ	AS	MS	FZ	AS	MS		FZ	AS	MS	FZ	AS	MS
O ₂ (%)	12.8	11.4	13.6	11.8	11.9	13.2	12.7	12.5	12.2	11.9	6.9	10.4
CO ₂ (%)	4.8	5.3	4.1	4.9	4.5	3.8	3.4	3.9	4.1	3.9	7.1	5.8
CO (mg/Nm ³)	3429	2058	2186	2334	2890	2599	3811	3061	2610	3211	3564	2812
NO _x (mg/Nm ³)	173	233	225	229	196	206	218	218	145	197	188	155

Çizelge 4.30. 160 MPa sıkıştırma basıncında briketler için ölçülen en yüksek baca gazı emisyon değerleri

M: %8-10							M: %13-15					
PB: 2-5 mm			PB: 7-10 mm				PB: 2-5 mm			PB: 7-10 mm		
FZ	AS	FZ	AS	FZ	AS		FZ	AS	FZ	AS	FZ	AS
O ₂ (%)	9.4	10.8	12.7	10.7	11.6	11.7	13.1	14.5	12.1	8.8	8.4	11.4
CO ₂ (%)	5.7	6.8	4.4	5.1	6.3	4.7	3.9	3.3	3.9	6.1	6.3	4.1
CO (mg/Nm ³)	2079	2494	2719	2244	2963	3132	3682	3365	3449	3800	3194	3733
NO _x (mg/Nm ³)	218	220	139	219	206	220	145	201	163	178	230	296

Isınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde (IKHKKY) biyokütle yakıtı için verilen emisyon sınır değerleri Çizelge 4.31’de verilmiştir.

Çizelge 4.31. IKHKKY sınır değerleri

	CO ₂ (%)	CO (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)
IKHKKY			
Sınır Değerleri	20.5	4000	400

Baca gazı emisyon ölçümleri sonucunda açığa çıkan en yüksek değerler (Çizelge 4.29 ve 4.30) çalışmada üretilen briketlerin yanması sonucu oluşan baca gazı emisyonlarının Çizelge 4.31’de verilen IKHKKY ile kıyaslandığında tüm uygulamalar için bu sınır değerlerin altında kaldığı görülmüştür. Briketlerin nem içeriklerinin artmasıyla birlikte ölçülen CO gazı değerlerinde de artışlar olduğu gözlemlenmiştir (Kristensen ve Kristensen 2004; Dias ve diğ., 2004; Fournel ve diğ., 2015). NO_x değerleri ise yine aynı şekilde belirtilen sınır değerlerin altında kalmıştır. Her üç materyale ait briketlerin yanma işlemi sonrasında açığa çıkan SO₂ emisyon değerleri çok düşük olduğundan bu değerler dikkate alınmamıştır. Belirlenen emisyon değerleri incelendiğinde Roy ve Corscadden (2012) tarafından yapılan farklı artıklara ait biyokütle briketlerinin evsel bir odun sobasında yakılmasından sonra elde edilen emisyon sonuçlarıyla benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

Farklı sıkıştırma basınçlarında, farklı nem içeriklerinde ve farklı parçacık boyutlarında elde edilen briketler için ölçülen ortalama baca gazı sıcaklıkları ve yanma verimi değerleri Çizelge 4.32, 4.33 ve 4.34’de verilmiştir.

Çizelge 4.32. FZ briketlerine ait baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi değerleri

P (MPa)	M (%)	PB (mm)	Baca Gazı	Yanma
			Sıcaklığı (°C)	Verimi (%)
80	8-10	2-5	401	56.96-77.60
		7-10	458	67.40-72.20
	13-15	2-5	466	59.70-73.80
		7-10	394	72.50-73.60
160	8-10	2-5	481	71.50-72.20
		7-10	436	71.70-74.00
	13-15	2-5	372	56.80-75.80
		7-10	504	70.40-73.10

Çizelge 4.33. AS briketlerine ait baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi değerleri

P (MPa)	M (%)	PB (mm)	Baca Gazı	Yanma
			Sıcaklığı (°C)	Verimi (%)
80	8-10	2-5	601	58.00-68.40
		7-10	568	64.30-67.70
	13-15	2-5	665	48.20-67.10
		7-10	651	66.00-68.60
160	8-10	2-5	593	63.20-68.90
		7-10	653	51.40-64.90
	13-15	2-5	610	40.10-67.20
		7-10	684	59.80-66.40

Çizelge 4.34. MS briketlerine ait baca gazı sıcaklığı ve yanma verimi değerleri

P (MPa)	M (%)	PB (mm)	Baca Gazı	Yanma
			Sıcaklığı (°C)	Verimi (%)
80	8-10	2-5	420	65.50-67.00
		7-10	416	65.40-66.40
	13-15	2-5	464	66.00-70.60
		7-10	463	70.50-73.60
160	8-10	2-5	369	62.50-70.70
		7-10	423	69.10-82.60
	13-15	2-5	495	63.90-71.70
		7-10	495	66.80-73.10

Çizelge 4.32, 4.33 ve 4.34 incelendiğinde baca gazı sıcaklıklarının yüksek olması üretilen enerji miktarının büyük bir kısmının burada tüketildiğini göstermektedir. Hava-yakıt oranının kontrol edilememesinden kaynaklanan bu durum bu tip yakma sistemlerinin olumsuz yönlerindendir (Bilgin, 2008). Yanma verimi değerlerinin, farklı sıkıştırma basıncı, farklı nem içeriği ve farklı parçacık boyutlarında fındık zurufu tarımsal atığı briketleri için ortalama %71, ayçiçeği sapı briketleri için %65 ve mısır sapı briketleri için %69 olarak belirlenmiştir. Ayçiçeği sapı atığından üretilen briketlerin baca gazı sıcaklıkları diğer iki artıktan üretilen briketlerin baca gazı sıcaklık değerlerinden yüksek çıkmıştır. Bu durum bu ürünün yanma verimini de olumsuz etkilemiştir.

Sonuç olarak, çalışmada elde edilen briketlerin emisyon değerlerinin yönetmelikte belirtilen sınır değerler altında olması ve enerji değerlerinin yüksek olması, bu artıklardan elde edilen briketlerin katı biyoyakıt kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Fakat bu tip yakıtların, daha verimli kullanılabilmesi ve üretilen enerjiden daha çok faydalanılabilmesi için yakıt-hava karışımının kontrol altında tutulabildiği sistemlerde yakılmasının daha faydalı olacağı düşünülmektedir. Böylece açığa çıkan enerjiden maksimum düzeyde fayda sağlanabilecektir.

4.4 Briketlere Ait Isıl Değerler ve Kül İçerikleri

Yakıtların ısı değerleri, birim ağırlıktaki yakıtın tamamen yanması sonucu açığa çıkan ısı miktarı olup, fındık zurufu, ayçiçeği sapı, mısır sapı tarımsal artıklarından iki farklı nem içeriğinde elde edilen briketlere ait kül içeriği ve üst ısı değerler Çizelge 4.35’de verilmiştir.

Çizelge 4.35. Tarımsal artıklara ait kül içerikleri ve üst ısı değerler

	Üst Isıl Değer (MJ.kg ⁻¹)		Kül İçeriği (%)	
	M: %8-10	M: %13-15	M: %8-10	M: %13-15
FZ	18.49	17.99	8.47	10.72
AS	15.89	15.32	18.53	19.01
MS	16.51	16.48	10.16	11.82

Çizelge 4.35’de verilen değerler incelendiğinde, en yüksek üst ısı değer 18.49 MJ.kg⁻¹ %8-10 nem içeriğinde findık zurufu briketlerinde elde edilmiş olup, en düşük üst ısı değer ise %13-15 nem içeriği değerinde ayçiçeği sapı tarımsal atığı briketlerinden elde edilmiştir (15.32 MJ.kg⁻¹). Oduna ait üst ısı değer 15.91 MJ.kg⁻¹ olması, bu çalışmada findık zurufundan elde edilen briketlerin üst ısı değerinden düşük olmasından dolayı, bu tarımsal artıkların katı biyoyakıt olarak enerji kaynağına dönüştürülebileceğini kanıtlamaktadır. Ayrıca, ayçiçeği ve mısır sapından elde edilen briketlere ait üst ısı değerlerin yine oduna yakın olmasından dolayı, bu tarımsal artıklardan da katı biyoyakıt olarak faydalanılabileceğini göstermektedir. Yine literatürdeki çalışmalara bakıldığında elde edilen sonuçlar Niedziołka ve diğ. (2015), Olugbade ve Mohammed (2015) Shuma ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmalar ile karşılaştırıldığında, birbirine yakın oldukları belirlenmiştir. Tarımsal artıkların kül içeriği değerleri incelendiğinde nem oranına bağlı olarak en yüksek kül içeriği değeri %19.01 değeri ile %13-15 nem değerinde ayçiçeği sapından elde edilen briketlerin yanması sonu açığa çıkmış olup, en düşük kül içeriği değeri %8-10 nem içeriği değerlerinde findık zurufu briketlerinden elde edilmiştir (%8.47). Isıl değerler ve kül içeriği değerleri karşılaştırıldığında findık zurufu tarımsal atığından elde edilen briketler için %8-10 nem içeriğinde en uygun değerler belirlenmiştir. Materyalin nem ve kül içeriği değerleri yanma kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, nem ve kül içeriği düşük olan briketlerden daha yüksek ısı değerler elde edilmektedir. Bu açıdan bakıldığında findık zurufu tarımsal atığından üretilen briketler diğer iki üründen üretilen briketlerden daha kaliteli olduğu söylenebilir.



5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Karadeniz Bölgesinde tarımsal faaliyetler sonucu açığa çıkan tarımsal artıkların hem çevre kirliliğinin önlenmesi hem de açığa çıkan bu biyokütle kaynağının katı biyoyakıt olarak enerjiye dönüştürülmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, hidrolik tip bir briketleme makinesi kullanılarak elde edilen briketler için en uygun briketleme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada fındık zurufu, ayçiçeği ve mısır sapları olmak üzere üç farklı tarımsal artık kullanılmıştır.

Bu artıklardan elde edilen briketlerin fiziksel özellikleri, kimyasal özellikleri ve yanma sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değerleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Materyal olarak kullanılan bu üç farklı tarımsal artıktan, literatürde yapılan çalışmalara bağlı olarak belirlenen iki farklı sıkıştırma basıncında (80 ve 160 MPa), iki farklı nem içeriğinde (%8-10 ve %13-15) ve iki farklı parçacık boyutunda (2-5 ve 7-10 mm) briketler üretilebileceği görülmüştür.
- Ortam koşullarına bağlı olarak briketlerin üretildikten 7 gün sonra belirlenen nem değerleri; ayçiçeği ve mısır sapı briketlerinde azalma göstermiş olup, kuruma olmuştur. Fındık zurufu tarımsal artıklarında ise %8-10 nem içeriğine sahip briketlerde artış, %13-15 nem içeriğine sahip briketlerde ise azalma şeklinde gerçekleşmiştir.
- Briketlerin hacim ağırlıkları 936.24 ile 1216 kg.m^{-3} arasında değişmiş olup materyal hacim ağırlıklarına bağlı olarak en yüksek sıkıştırma oranı (briket yoğunluğunun dökme halindeki öğütülmüş materyal yoğunluğuna oranı) mısır sapı tarımsal atığı briketlerinde elde edilmiştir.
- Briket hacim ağırlıkları üzerinde sıkıştırma basıncı ve nem içeriği değerlerinin önemli olduğu ($P<0.01$), parçacık boyutunda ise sadece fındık zuruflarında önemsiz olduğu belirlenmiştir. Ayrıca her üç parametrenin birlikte etkisi değerlendirildiğinde fındık zurufu ve ayçiçeği sapında önemli olduğu ($P<0.01$), fakat mısır sapı briketlerinde önemsiz olduğu tespit edilmiştir.
- Düşme dayanıklılık dirençleri üzerinde her bir parametrenin (sıkıştırma oranı, nem içeriği, öğütme inceliği) tek başına önemli olduğu ($P<0.01$), üç parametrenin birlikte etkilerinin ise fındık zurufu ve ayçiçeği sapı briketlerinde

önemli olduğu ($P<0.01$), mısır sapı briketlerinde ise önemsiz olduğu belirlenmiştir. En yüksek düşme-dayanıklılık dirençleri mısır sapı briketlerinde sağlanmış olup fındık zurufu briketlerinin diğer iki materyalden üretilen briketlere göre daha az dayanıklı olduğu görülmüştür.

- Kırılma direnci testi sonucunda, sıkıştırma basıncı ve nem içeriği değerlerinin briketler üzerinde önemli olduğu ($P<0.01$), parçacık boyutunun ise sadece fındık zurufu briketlerinde önemsiz olduğu belirlenmiştir. Üç parametrenin birlikte etkilerinde de bu durumun geçerli olduğu görülmüştür. Düşme-dayanıklılık testi sonuçlarında olduğu gibi en yüksek kırılma direnci değerleri mısır sapı briketlerinde sağlanmış olduğu ve fındık zurufu briketlerinin diğer iki materyalden üretilen briketlere göre daha az dayanıklı olduğu görülmüştür.
- Briketlerin 2. dakika su alma kapasiteleri değerlendirildiğinde, üç farklı parametrenin etkisinin fındık zurufu ve ayçiçeği sapı briketleri üzerinde önemli olduğu ($P<0.01$), mısır sapı briketlerinde ise önemsiz olduğu belirlenmiştir. Ancak, mısır sapı briketlerinin fındık zurufu ve ayçiçeği sapı briketlerine göre bünyesine daha çok su çektiği belirlenmiştir.
- Genel olarak briketlerin hava nemi dirençleri her üç materyal için ortam koşullarına bağlı olarak yüksek nem içeriğinde dış ortama nem verdikleri için bir kuruma meydana gelmişken, düşük nem içeriklerinde ortamdan nem alma durumu oluşmuştur. Fındık zurufundan üretilen briketlerde en iyi hava nemi direnci ($\% -0.76 \pm 0.26$) 160 MPa sıkıştırma basıncında $\%13-15$ nem içeriğinde ve 2-5 mm parçacık boyutu değerlerinde belirlenmiştir. Ayçiçeği ve mısır sapından üretilen briketlerde ise en iyi değerler sırasıyla $\% 0.15 \pm 0.01$ ve $\% -0.05 \pm 0.01$ olarak gerçekleşmiştir.
- Briketlerin yakılması sonucunda elde edilen en yüksek baca gazı emisyon değerlerinin, Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde (IKHKKY) belirtilen sınır değerlerin altında kaldığı görülmüştür. Dolayısıyla, bu çalışmada kapsamında üretilen tüm briketlerin çevre dostu ve yeşil bir biyoyakıt oldukları rahatlıkla söylenebilir.
- Yanma verimi değerlerinin, farklı sıkıştırma basıncı, farklı nem içeriği ve farklı parçacık boyutlarında fındık zurufu tarımsal atığı briketleri için ortalama $\%71$, ayçiçeği sapı briketleri için $\%65$ ve mısır sapı briketleri için $\%69$ olarak belirlenmiştir. Ayçiçeği sapı atığından üretilen briketlerin baca gazı sıcaklıkları

diğer iki artıktan üretilen briketlerin baca gazı sıcaklık değerlerinden yüksek çıkmıştır. Bu durum bu ürünün yanma verimini de olumsuz etkilemiştir.

- Üretilen bu briketlerin geleneksel tip sobalarda yakılması esnasında tutuşturulma sorunları yaşanmış ve bu durum yanma verimi değerlerini olumsuz etkilemiştir. Bu yüzden bu gibi yakıtların hava-yakıt karışımın ayarlanabildiği yakma sistemlerinde yakılması hem yanma verimi değerlerini arttıracak hem de çevre kirliliğini azaltacağı düşünülmektedir.
- En yüksek ısı 18.49 MJ.kg⁻¹ değeri ile %8-10 nem içeriğinde fındık zurufu briketlerinde elde edilmiş olup, en düşük ısı değeri ise %13-15 nem içeriği değerinde ayçiçeği sapı tarımsal atığı briketlerinde 15.32 MJ.kg⁻¹ değeri ile elde edilmiştir. Üretilen briketlerin sahip oldukları ısı değerleri piyasada satılan odun ve linyit kömürü katı yakıtlarının ısı değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu açıdan ele alındığında üretilen briketlerin hem enerji içeriği hem de çevresel etkileri bakımından çok daha iyi bir ürün olduğu düşünülmektedir.
- Tarımsal artıkların kül içeriği değerleri incelendiğinde, nem oranına bağlı olarak en yüksek kül içeriği değeri %19.01 değeri ile %13-15 nem değerinde ayçiçeği sapından elde edilen briketlerin yanması sonu açığa çıkmış olup, en düşük kül içeriği değeri %8-10 nem içeriği değerlerinde fındık zurufu briketlerinden elde edilmiştir (%8.47).
- Isı değerleri ve kül içeriği değerleri karşılaştırıldığında, fındık zurufu tarımsal atığından elde edilen briketler için %8-10 nem içeriğinde en uygun değerler belirlenmiştir. Bu açıdan bakıldığında fındık zurufu tarımsal atığından üretilen briketler diğer iki üründen üretilen briketlerden daha kaliteli olduğu söylenebilir.
- Belirlenen tarımsal artıklardan üretilen briketlerin herhangi bir yapıştırıcı katkı maddesi kullanılmadan hidrolik tip bir briketleme makinesi ile briketlenerek sağlam ve kaliteli briketler elde edilebileceği görülmüştür.

Briketleme için incelenen tüm parametreler dikkate alındığında, hidrolik tip bir briketleme makinesi ile fındık zurufu tarımsal atığının briketlenebilmesi için en uygun sıkıştırma basıncı 160 MPa, en uygun materyal nem içeriği aralığı %8-10 ve en uygun parçacık boyutu aralığı 2-5 mm olarak belirlenmiştir. Ayçiçeği ve mısır sapı briketleri için en uygun briketleme parametreleri ise; 160 MPa sıkıştırma basıncı, %8-10 nem içeriği ve 7-10 mm parçacık boyutu olarak belirlenmiştir.

5.2 Öneriler

Enerji politikalarının temel amacı; artan nüfusun ve gelişen sanayiye bağlı olarak enerji ihtiyacının sürekli, kaliteli ve en az maliyetlerle karşılanmasıdır. Karadeniz Bölgesi'nde yapılan tarımsal aktivitelere bağlı olarak açığa çıkan büyük miktarlardaki artık potansiyelinin değerlendirip bölge ekonomisine tekrar geri kazandırılması sera gazı salınımlarının ve küresel ısınma etkilerinin azaltılması, su yönetimi, sürdürülebilir doğal kaynak kullanımı için bir yapı oluşturacaktır. Enerji ihtiyacına karşılık olarak yeni enerji üretim tekniklerinin uygulanması da orta ve uzun vadede bölgenin enerji ihtiyaçlarına karşılık verebilecektir.

Yapılan bu araştırma sonucunda, ülkemizde ve özellikle bölgemizde büyük bir potansiyel teşkil eden başta fındık zurufu olmak üzere ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal artıklarının briketlenerek katı biyoyakıt şeklinde alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılmasının uygun olduğu tespit edilmiştir. Fakat bu kadar büyük potansiyele sahip bu tarımsal artıkların biyokütle olarak kullanabilmesi için öncelikle mevcut bu potansiyele ulaşılması gerekmektedir. Karadeniz bölgesinin coğrafi durumu ve ulaşım zorluklarından dolayı özellikle fındık zurufu atığının tamamına ulaşılması ve bunların briket olarak kullanılması pratikte çok zor gözükmemektedir. Ancak, ticari bir değeri olan çevreye ve ülke ekonomisine faydalı olabilecek bu ürünün üretilmesinin teşvik edilmesi ile kırsal alanda bir iş kolu ve istihdam sağlanabileceği ve bu vesile ile daha fazla tarımsal atığa ulaşılabilmesi düşünülmektedir. Bununla birlikte, bu tarımsal artıklardan üretilen briketler için en uygun yakma sistemleri geliştirilerek tarıma dayalı sanayi kuruluşlarının enerji ihtiyaçlarını karşılayabilecek alternatif bir yakıt kaynağı olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan her üç tarımsal artık materyali fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından katı biyoyakıt olarak uygun oldukları tespit edilmiştir. Bu tarımsal artıkların katı biyoyakıt özelliklerinin iyileştirilmesi adına her üç tarımsal artığın karıştırılarak briketleme yapılması ve briketleme parametrelerinin tespit edilmesi üzerine yeni çalışmalar yapılabilir.

Dayanıklılık testleri sonrasında ayçiçeği ve mısır sapı tarımsal artıklarının fındık zurufundan elde edilen briketlere göre daha sağlam ve kaliteli olduğu tespit edilmiştir. fındık zurufundan elde edilen briketlerin daha sonra yapılacak çalışmalar için daha yüksek sıkıştırma basıncı değerlerinde elde edilmesinin briketlerin sağlamlık kalitesini arttıracakı düşünülmektedir. Ayrıca, bu tarz bilimsel çalışmalarda farklı ürünler için

farklı sıkıştırma basınçlarında briketler elde edilerek, en uygun briketleme parametreleri tespit edilebilir ve böylece yeni makineler üretilerek hem daha çevreci hem de daha kaliteli yakıtlar elde edilebilecektir.

Avrupa Birliği, 2013 yılında EN 14961-3 nolu yakıt briketleri için standartlar yayınlamıştır. Ancak, bu standartlar genel olarak odun talaşı materyalini içermektedir. Bu çalışma sonucunda da tespit edildiği gibi ülkemizde önemli bir potansiyeli olan, fiziko-mekanik ve kimyasal özellikleri bakımından katı biyoyakıt olarak kullanılmaya elverişli olan tarımsal artıklar için de benzer briket standartlarının geliştirilmesi gerekmektedir.

Bununla birlikte, ülkemizdeki tarımsal artık potansiyeli dikkate alındığında bu tarz bilimsel çalışmalara ihtiyaç vardır. Briket formunda üretilen katı biyoyakıtlar için ABD ve Avrupa Birliği standartlar geliştirmişlerdir. Bu konuda en güncel standart 2011 yılında yayınlanan ve 2013 yılında güncellenen EN 14961-3 Avrupa Birliği standartlarıdır. Ancak, bu standart odun talaşından elde edilen briketler için geliştirilmiştir ve bu çalışmada kullanılan tarımsal artıkları içermemektedir. Bu nedenle bu tarz bilimsel çalışmaların sayısının artırılması ve katı biyoyakıt olarak büyük bir potansiyele sahip tarımsal artıklar için de benzer standartların geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca bu tip çalışmalara önem verilmesi ile kırsal kalkınmanın en önemli öğelerinden birisi olan tarıma dayalı sanayinin yine kırsalda kurulmasına ve kırsalda yaşayan insanlara istihdam sağlanılmasına katkıda bulunacaktır. Bununla birlikte, tarımsal artıklardan yakacak briket elde etme tesislerinin orta ölçekte kırsalda kurulacak olunmasıyla kırsal istihdama ve kırsal kalkınmaya yararlı bir hizmet edinilmiş olunacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Acaroğlu M., 2013. Alternatif Enerji Kaynakları. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık, ISBN: 978-605-133-620-6, Ankara.
- Ahiduzzaman M., Islam A.K.M.S., 2013. Development of Biomass Stove for Heating Up Die Barrel Of Rice Husk Briquette Machine, *5th BSME International Conference on Thermal Engineering. Procedia Engineering*, 56, 777 – 781.
- Akman H.E., 2012. Yağ Gülü (Rosa damascena Mill.) Damıtma Atıklarının Briketlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Antalya.
- Al-Widyan M.I., Tashtoush G., Hamasha A.M., 2006. Combustion and Emissions of Pulverized Olive Cake in Tube Furnace, *Energy Conversion and Management*, 47: 1588–1596.
- Amaya A., Medero N., Tancredi N., Silva H., Deiana C., 2007. Activated Carbon Briquettes From Biomass Materials, *Bioresource Technology* 98, 1635–1641.
- Angın D., Şensöz S., 2006. Aspir Tohumu Pres Küspesinin Pirolizinde Sürükleyici Gaz (N₂) Akış Hızının Etkisi ve Sıvı Ürün Karakterizasyonu, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimi Dergisi*, 18 (4), 535-542.
- Balat M., Acici N., Ersoy G., 2006. Trends in the use of biomass as an energy source, *Energy Sources Part B*; 1, 367–78.
- Başkan A. E., 2010. Zeytinyağı İşletmelerinin Atıkları ve Değerlendirilme Yolları, T.C. Güney Ege Kalkınma Ajansı. Denizli.
- Bazargan A., Rough S.L., McKay G., 2014. Compaction of Palm Kernel Shell Biochars Forapplication As Solid Fuel, *Biomass and Bioenergy* XXX, 1-9.
- Belen İ., Ataş E., 2009. Türkiye Ormancılık Sektöründe Biyokütle Faaliyetlerinden Enerji Üretimi, Karbon Finansmanı Çalıştayı, 17 Haziran, Kastamonu.
- Bhattacharya S.C., Leon M.A., Rahman M., 2002. A Study on Improved Biomass Briquetting. *Energy For Sustainable Development*, Volume 6, Number 2, 106-110.
- Bignal K.L., Langridge S., Zhou J.L., 2008. Release of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Carbon Monoxide and Particulate Matter From Biomass Combustion in A Wood-Fired Boiler Under Varying Boiler Conditions, *Atmospheric Environment* 42, 8863–8871.
- Bilgin S., 2008. Sera Bitkisel Biyokütle Atıklarının Briketlenmesi, Briket Özelliklerinin Ve Yanma Sonu Gaz Emisyonlarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Akdeniz Üniversitesi, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Antalya.
- Bilgin S., 2010. Pamuk ve Susam Sapı Briketlerinin Baca Gazı Emisyon Değerlerinin Belirlenmesi, *26.Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi*, Hatay, 22-23 Eylül.
- Bilgin S., Ertekin C., Kürklü A., 2012. A Study on Flue Gas Emissions of Different Reed Plants as Briquetted Fuelwood. *International Conference of Agricultural Engineering CIGR-AgEng*, Valencia, 8-12 Temmuz.
- Bilgin S., Yılmaz H., Koçer A., 2015. Briquetting of Greenhouse Pepper Crop Residues, *Agric Eng Int: CIGR Journal*, Special issue,185-19.

- Chen W.H., Peng J., Bi X.T., 2015. A State of The Art Review of Biomass Torrefaction, Densification And Applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews 44, 847–866.
- Chinyere D.C., Asoegwu S.N., Nwandikom G.I., 2014. An Evaluation of Briquettes From Sawdust and Corn Starch Binder, International Journal of Science and Technology 2, 149-157.
- Clark J. H., 2008. Introduction Chemicals From Biomass, Green Chemistry Centre, University of York, John Wiley & Sons, UK.
- Coşoreanu C., Lica D., Lunguleasa A., 2015. Investigation on The Quality of Briquettes Made From Rarely Used Wood Species, Agro-Wastes And Forest Biomass, 11(1), 32-39.
- CRA., 1987. The la densification de la biomass. Commission des Communuates Europeennes. Centre de Recherches Agronomiques, Belgium.
- Çetinkaya M., Karaosmanoğlu F., 2003. Hidrojen ve Yakıt Pilleri, MMO İstanbul Şube Ölçü Dergisi, *EMO Enerji Raporu* (27/28 Nisan 2002).
- Çıtak, S., Sönmez S., Öktüren F., 2006. Bitkisel Kökenli Atıkların Tarımda Kullanılabilme Olanakları, *Derim* 23(1), 40-53.
- Daives R.M., 2015. Some Physical and Mechanical Characteristics of Briquettes of White Afara (*Terminalia superba*) Sawdust and Organic Binders, International Journal of Scientific Research in Agricultural Sciences ISSN: 2345-6795, 2(3), 55-60.
- Dare P., Gifford J., Hooper R.J., Clemens A.H., Damiano L.F., Gong D., Matheson T.W., 2001. Combustion Performance of Biomass Residue and Purpose Grown Species, Biomass and Bioenergy, 21, 277-287.
- Davies R.M., Davies O.A., 2014. Physical Characteristics of Some Biomass Briquettes, Journal of Advanced & Applied Sciences (JAAS), 2(2), 72-84.
- Davies R.M., Davies O.A., Mohammed U.S., 2013. Combustion Characteristics of Traditional Energy Sources and Water Hyacinth Briquettes, International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences (IJSRES), 1(7), 144-151.
- Demirbaş A., 1999. Physical Properties of Briquettes From Waste Paper and Wheat Straw Mixtures, Energy Conversion & Management 40, 437-445.
- Demirbaş A., 2009. Biofuels Securing The Planet's Future Energy Needs, Energy Conversion and Management 50, 2239–2249.
- Demirtaş M., Gün V., 2007. Avrupa ve Türkiye'deki Biyokütle Enerjisi, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* 3.1, 1305-1385.
- Di Blasi C., Tanzı V., Lanzetta M. 1997. A Study of the Production of Agricultural Residues in Italy, Biomass and Bioenergy, 12(5), 321–331.
- Dias J., Costa M., Azevedo J.L.T., 2004. Test of A Small Domestic Boiler Using Different Pellets, Biomass Bioenergy, 27, 531–540.
- Dutta A., 2007. E-learning course Lecture 3: Bio-energy For Achieving MDGs. Asian Institute of Technology, www.energyforumasia.org.
- Enerji Raporu, 2013. Dünya Enerji Konseyi. ISBN: 1301-6318, Ocak 2014, Ankara.

- Evans A., Strezov V., Evans T.J., 2010. Sustainability Considerations for Electricity Generation From Biomass, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(5), 1419-1427.
- Faizal H.M., Latiff Z.A., Wahid M.A., Darus A.N., 2011. Physical and Combustion Characteristics of Biomass Residues from Palm Oil Mills, *New Aspects of Fluid Mechanics, Heat Transfer And Environment*, ISBN: 978-960-474-215-8, 34-38.
- Fournel S., Palacios J.H., Morissette R., Villeneuve J., Godbout S., Savoie, P., 2015. Influence of Biomass Properties on Technical and Environmental Performance of A Multi-Fuel Boiler During on-Farm Combustion of Energy Crops, *Applied Energy*, 141, 247–259.
- González J.F., González-García C.M., Ramiro A., González J., Sabio E., Ganán J., Rodríguez M.A. 2004. Combustion Optimisation of Biomass Residue Pellets for Domestic Heating With A Mural Boiler, *Biomass and Bioenergy*, 27, 145-154.
- Granada E., González L.M.L., Míguez J.L., Moran J., 2002. Fuel Lignocellulosic Briquettes, *Die Design and Products Study*, *Renewable Energy*, 27, 561-573.
- Grover P. D., Mishra S. K., 1996. Biomass Briquetting: Technology and Practices. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Hall D.O., 1997. Biomass Energy in Industrialized Countries-A View of the Future, *Forest Ecology and Management*, 91, 17-45.
- Husain Z., Zainac Z., Abdullah Z., 2002. Briquetting of Palm Fibre And Shell From The Processing of Palm Nuts to Palm Oil, *Biomass and Bioenergy*, 22, 505-509.
- IEA, 2014. Key World Energy Statistics.
- IKHKKY, 2014. Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.7265&sourceXmlSearch=&MevzuatIliski=0> (Erişim tarihi: 23.03.2014).
- İleri Ç., 2015. AB’de Yenilenebilir Enerjinin Payının Artması ve Türkiye, *İKV Değerlendirme Notu*, Sayı 118, 1-7.
- Kaķītis A., Nulle I., Ancāns D., 2011. Mechanical Properties Of Composite Biomass Briquettes. *Environment. Technology. Resources, Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference*, Volume 1, 175-183.
- Kaliyan N., Morey R., 2006, Densification Characteristics of Corn Stover and Switchgrass, *Presented at the ASABE Annual International Meeting*, , USA. July 9-12.
- Kaliyan N., Morey R.V., 2008. Densification Characteristics of Corn Stover and Switchgrass, *American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0001-2351*, Vol. 52(3), 907-920.
- Kaliyan N., Morey R.V., White M.D., Doering A., 2009. Roll Press Briquetting and Pelleting of Corn Stover And Switchgrass, *American Society of Agricultural Engineers*, vol. 52, no: 2, 543-555.
- Kapluhan E., 2014. Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye’deki Kullanım Durumu, Sayı: 30, Temmuz - 2014, 97-125.

- Karaca C., 2009. Çukurova Bölgesindeki Tarıma Dayalı Sanayi Atıklarının Enerjiye Dönüşüm Olanaklarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Adana.
- Karayılmazlar S., Saraçoğlu N., Çabuk Y., Kurt R., 2011. Biyokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, Cilt: 13, Sayı: 19, 63-75.
- Karunanithy C., Wang Y., Muthukumarappan K., Pugalendhi S., 2012. Physiochemical Characterization of Briquettes Made from Different Feedstocks, *Biotechnology Research International*, Volume 2012, 1-12.
- Kaya D., 2006. Renewable Energy Policies in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10, 152–163.
- Kaygusuz K., Sarı A., 2003. Renewable Energy Potential and Utilization in Turkey, *Energy Conversion and Management*, 44, 459–478.
- Kaygusuz K., Türker M.F., 2002. Biomass Energy Potential in Turkey, *Renewable Energy*, 26, 661-678.
- Kaynak B., Topal H., Atımtay A.T., 2005. Peach and Apricot Stone Combustion in A Bubbling Fluidized Bed, *Fuel Processing Technology*, 86, 1175- 1193.
- Kristensen E.F., Kristensen J.K., 2004. Development and Test of Small Scale Batch-Fired Straw Boilers in Denmark, *Biomass Bioenergy*, 26, 561–570.
- Križan P., Šooš L., Matuš M., Beniak J., Svátek M., 2015. Research of Significant Densification Parameters Influence on Final Briquettes Quality, *Wood Research* 60 (2), 301-316.
- Kurt G., Koçer N.N., 2010. Malatya İlinin Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Üretimi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26 (3), 240-247.
- Kürklü A., Bilgin S., 2005. Biyokütle Briketleme Makinaları ve Uygulamaları: Literatür Taraması, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 19-21 Ekim.
- Li Y., Liu H., 2000. High-pressure Densification of Wood Residues to Form An Upgraded Fuel, *Biomass Bioenergy*, 19(3), 177-186.
- Lindley J., Vossoughi M., 1989. Physical Properties of Biomass Briquettes, *Transactions of the ASAE*, 32, 361–366.
- Maç N., 2006. Türkiye’de Enerji Sektörü. Konya Ticaret Odası Etüd-Araştırma Servisi, Araştırma Raporu, Sayı 2006-42/39, Konya.
- Mohammed T.I., Olugbade T.O., 2015a. Burning Rate of Briquettes Produced from Rice Bran and Palm Kernel Shells, *International Journal of Material Science Innovations*, 03(2), 68-73.
- Mohammed T.I., Olugbade T.O., 2015b. Characterisation of briquettes from Rice Bran and Palm Kernel Shell, *International Journal of Material Science Innovations*, 03(2), 60-67.
- Moses D.R., Augustina A.O., 2014. Some Physical and Mechanical Properties of Water Lettuce (*Pistia Stratiotes*) Briquettes, *American Journal of Science and Technology* 1(5), 238-244.

- Muntean A., Havrland B., Pobedinsky V., Ivanova T., Marian G., 2010. Features of Bio-Briquettes Pressing With The Piston Briquetting Press, *Engineering For Rural Development*, Jelgava, 27, 246-251.
- Murali G., Goutham P., Hasan I.E., Anbarasan P., 2015. Performance Study of Briquettes from Agricultural Waste for Wood Stove with Catalytic Combustor, *International Journal of ChemTech Research*, 8(1), 30-36.
- Mythili R., Venkatachalam P., 2012. Briquetting of Agro-residues. *Journal of Scientific&Industrial Research*, 72, 58-61.
- Ndiema C.K.W., Manga P.N., Ruttoh C.R., 2002. Influence of Die Pressure on Relaxation Characteristics of Briquetted Biomass, *Energy conversion and management*, 43, 2157-2161.
- Oladeji J.T., 2010. Fuel Characterization of Briquettes Produced from Corncob and Rice Husk Resides, *Pacific Journal of Science and Technology*, 11(1), 101-106.
- Oladeji J.T., 2015. Theoretical Aspects of Biomass Briquetting: A Review Study. *Journal of Energy Technologies and Policy*, 5(3), 72-81.
- Olugbade T.O., Mohammed T.I., 2015. Fuel Developed from Rice Bran Briquettes and Palm Kernel Shells, *International Journal of Energy Engineering*, 5(2), 9-15.
- Orhan İ., 2013. Kızılçam, Karaçam Ve Sarıçam'ın Ticari Ve Ticari Olmayan Bileşenlerinin Biyokütle Miktarlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın.
- Öztürk H.H., 2013. Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, Birsen Yayınevi, ISBN: 978-975-511-589-4, İstanbul.
- Pels J. R., Niel D., Kiel J., 2005. Potential Agro-Residues and their Characteristics, *Presented at IEA Exco workshop on Biomass co-firing*, Copenhagen, 4-6.
- Perlack R.D., Wright L.L., Huston M.A., Schramm W.E., 1995. Biomass Fuel From Woody Crops For Electric Power Generation, ORNL-6871, L. Martin Energy Systems, Inc., Oak Ridge, Tennessee, September 21
- Prevsuren B., Avid B., Gerelmaa T., Davaajav Y.M. 2004. The Characterization of Tar from the Pyrolysis of Animal Bones, *Fuel*, 83 (7-8), 799-805.
- Rajkumar D., Venkatachalam P., 2013. Physical Properties of Agro Residual Briquettes Produced From Cotton, Soybean and Pigeon Pea Stalks, *International Journal on Power Engineering and Energy (IJPEE)*, 4(4), 414-417.
- Reed T. B., Trezek G., Diaz L., 1980. Biomass Densification Energy Requirements, in *Thermal Conversion of Solid Wastes and Biomass*, Washington DC: American Chemical Society, 167–177.
- Ross A.B., Jones J.M., Chaiklangmuang S., Pourkashanian M., Williams A., Kubica K., Andersson J.T., Kerst M., Danihelka P., Bartle K.D., 2002. Measurement and Prediction of The Emission of Pollutants From The Combustion of Coal and Biomass in A Fixed Bed Furnace, *Fuel*, 81, 571-582.
- Roy M.M., Corscadden K.W., 2012. An Experimental Study of Combustion and Emissions of Biomass Briquettes in A Domestic Wood Stove, *Applied Energy*, 99, 206–212.

- Saraçoğlu N., 2008. Biyokütleden Enerji Üretiminde Enerji Ormancılığının Önemi VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, s. 17-21, 265-271, Ankara, 17-21 Aralık.
- Sawai T., Hirokawa N., Kajimoto T., Ichino Y., 2014. Thermo-Fluid Phenomena of Torrefied Woody Biomass and Optimum Molding Condition of Torrefied Wood Briquette, Journal of JSEM, 14 (Special Issue), 7-12.
- Sayakoummane V., Ussawarujikulchai A., 2009. Comparison of the Physical and Chemical Properties of Briquette and Wood Charcoal in Khammouane Province, Lao PDR, Environment and Natural Resources Journal, 7(1), 12-24.
- Sayigh A. 1999. Renewable Energy-the Way Forward, Applied Energy, 64 (1-4),15-30.
- Schmidl C., Luisser M., Padouvas E., Lasselsberger L., Rzaca M., Cruz C.R.S., Handler M., Peng G., Bauer H., Puxbaum H., 2011. Particulate and Gaseous Emissions From Manually and Automatically Fired Small Scale Combustion Systems, Atmospheric Environment, 45, 7443-7454.
- Shuma M.R., Madyira D.M., Makonese T.N., Oosthuizen G.A., 2015. Energy Content and Combustion Behaviour of Loose Biomass Available in Limpopo, 23rd Domestic Use of Energy (DUE), 93 – 100, Cape Town, 30 March-1 April.
- Singh R.M., Kim H.J, Kamide M., Sharma T., 2009. Biobriquettes-an Alternative Fuel for Sustainable Development, Nepal Journal of Science and Technology, 10, 121-127.
- Suhagar M., Lope G.T., Shahab S., 2006. Specific Energy Requirement For Compacting Corn Stover, Bioresource Technology, 97, 1420-1426.
- Suhartini S., Hidayat N., Wijaya S., 2011. Pyhsical Properties Characterization of Fuel Briquette Made From Spent Bleaching Earth, Biomass and Bioenergy, 35, 4209-4214.
- Sun B., Yu J., Tahmasebi A., Han Y., 2014. An Experimental Study on Binderless Briquetting of Chinese Lignite: Effects of Briquetting Conditions, Fuel Processing Technology, 124, 243–248.
- Şensöz S., Can M. 2002. 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.
- Taşdemiroğlu E., 1991. Economics of biogas space heating systems in rural Turkey, Bioresource Technology, 36, 147–55.
- Topal M., Arslan E.I., 2008. Biyokütle Enerjisi ve Türkiye. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, İstanbul, 17-19 Aralık.
- Topal, M., Topal E.I.A., 2012. Ürün Bitkilerinden Yenilenebilir Enerji Kaynağı Biyokütle Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi: Afyonkarahisar İli Örneği (2006-2010), AKÜ FEBİD 12, 1-11.
- Tripathi A.K., Iyer P.V.R., Kandpal T.C., 1998. A Techno-Economic Evaluation of Biomass Briquetting in India. Biomass and Bioenergy, 14(5-6), 479-488.
- TUİK, 2014. Bitkisel Üretim İstatistikleri, <https://www.tuik.gov.tr> (Ziyaret tarihi: 22 Aralık 2014).

- TUİK, 2015. Tarım ve Orman Alanları, <https://www.tuik.gov.tr> (Ziyaret tarihi: 19 Nisan 2015).
- Tumuluru J. S., Wright C. T., Hess J. R., Kenney, K. L., 2011. A Review of Biomass Densification Systems to Develop Uniform Feedstock Commodities for Bioenergy Application, *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 5(6), 683-707.
- Tumuluru J.S., Wright C.T., Kenny K.L., Hess J.R., 2010. A Review on Biomass Densification Technologies for Energy Application, Idaho National Laboratory Biofuels and Renewable Energy Technologies Department Energy Systems and Technologies Division, INL/EXT-10-18420.
- URL-1: http://www.enerji.gov.tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi_07/Sayi_07.html#p=4 (Ziyaret tarihi: 5 Ocak 2015).
- URL-2: <http://bepa.yegm.gov.tr/> (Ziyaret tarihi: 25 Mayıs 2015).
- URL-3: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sektor-Raporlari> (Ziyaret tarihi: 27 Ocak 2015).
- URL-4: <http://faostat.fao.org> (Ziyaret tarihi: 25 Aralık 2013).
- URL-5: <http://geka.org.tr/> (Ziyaret tarihi: 18 Ocak 2014).
- URL-6: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics-2014.html> (Ziyaret tarihi: 22 Aralık 2014).
- Üçgül İ., Akgül G., 2010. Biyokütle Teknolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi, *Yekarum Dergi*, 1(1), 3-11.
- Ültanır M.O., 1996. Yüzyılın Esiğinde Güneş Enerjisi. *Bilim ve Teknik (TÜBİTAK)*, Ankara, 340, 50-55.
- Ünal H., Alibaş K., 2002. Biyokütle Enerji Kaynağı Olarak Ayçiçeği Sapının Yakılması ve Baca Gazı Emisyonlarının Belirlenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 113-128.
- Voicea I., Voicu G., Cardei P., Vladut V., Biriş S., 2015. A Mathematical Model of Chopped Miscanthus Briquetting Process, *Procedia Technology*, 19, 750-757.
- Vyas D.K., Sayyad F.G., Khardiwar M.S., Kumar S., 2015. Physicochemical Properties of Briquettes from Different Feed Stock, *Current World Environment*, 10(1), 263-269.
- Wachira G.G., Gitau A.N., Kimani M.W., Njoroge B.N.K., 2015. Mechanical Properties of Saw Dust Briquettes of Eucalyptus Tree Species of Different Binders and Press Machines, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 5(4), 532-538.
- Wang J., Liu G., Li J., Li J., 2015. Experiment Study on Cold Compression of Biomass Materials, *International Conference on Information Sciences, Machinery, Materials and Energy (ICISMME 2015)*, 267-271, China, 11-13 April.
- Werther J., Saenger M., Hartge E.U., Ogada T., Siagi Z., 2000. Combustion of Agricultural Residues, *Progress in Energy and Combustion Science*, 26, 1-27.
- Wilaipon P., 2009. The Effects of Briquetting Pressure on Banana-Peel Briquette and the Banana Waste in Northern Thailand, *American Journal of Applied Sciences*, 6 (1), 167-171.

- Yaman M., 2005. Tarımsal Atıkların Briketlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Kimya Mühendisliği A.B.D., Konya.
- Yaman S., Şahan M., Haykırı A.H., Şeşen K., Küçükbayrak S., 2001. Fuel Briquettes From Biomass–Lignite Blends, *Fuel Processing Technology*, 72, 1-8.
- Yazar Y., 2010. Türkiye’nin Enerji Durumu ve Geleceği, *Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı*, SETA Analiz, Sayı 31.
- Yılmaz V., 2009, Sürdürülebilir Bir Sistemde Biyogazın Yeri, *5.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiri Kitabı*, 213, Ankara: Emo Yayınları.
- Yumak H., Uçar T., Seyidbekiroğlu N., 2010. Briquetting Soda Weed (*Salsola Tragus*) To Be Used As A Rural Fuel Source, *Biomass and Bioenergy*, 34,630-636.
- Zhang J., Guo Y., 2014. Physical Properties of Solid Fuel Briquettes Made From *Caragana Korshinskii* Kom, *Powder Technology*, 256, 293–299.
- Zhang S., Yan Y., Li T., Ren Z., 2005. Upgrading of Liquid Fuel from the Pyrolysis of Biomass, *Bioresource Technology*, 96(5), 545-550.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı :Bahadır DEMİREL
Doğum Yeri veTarihi : İstanbul/1981
Adres : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lojmanları, L Blok No: 7, Atakum/SAMSUN
E-Posta : bdemirel@omu.edu.tr
Lisans : OMÜ Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü
Yüksek Lisans : OMÜ Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği A.B.D.