



Ayçiçeği saplarının konik helezon tip briket makinesinde briketlenmesi

Briquetting of sunflower stalks in conical screw type briquette machine

Sefai BİLGİN¹, Hasan YILMAZ¹, Abdülkadir KOÇER², Mustafa ACAR³, Mahmut DOK³

¹ Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 07070 Antalya

² Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 07070 Antalya

³ Batı Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Enerji Tarımı Araştırma Merkezi, Samsun

Sorumlu yazar (Corresponding author): S. Bilgin, e-posta (e-mail): sbilgin@akdeniz.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi 06 Kasım 2014
Düzeltilme tarihi 13 Kasım 2014
Kabul tarihi 14 Kasım 2014

Anahtar Kelimeler:

Biyokütle enerjisi
Tarımsal artık
Briket

ÖZ

Türkiye’de tarımsal artıklar önemli bir biyokütle enerji kaynağıdır. Bu çalışmada, tarımsal artıklardan biri olan ayçiçeği sapları, kalıp ısıtmalı ve konik kalıplı, 15 kW gücünde konik helezon tip briketleme makinesinde briketlenmiştir. Denemede kullanılan materyalin nem içeriği % 10, geometrik ortalama çapı 0.705 mm’dir. Çalışmada, briketlerin kalitesi ile ilgili briket fiziksel özellikleri (yoğunluk, kırılma direnci, dayanıklılık direnci, basınç direnci ve su alma direnci) ile briketleme makinesinin kapasitesi ve enerji tüketim değerleri belirlenmiştir. Test öncesi bütün briketler 7 gün boyunca 23.5°C ve % 65 bağıl neme sahip kapalı çevre şartlarında bekletilmiştir. Çalışma sonunda ortalama 56 mm çapında ve 25 mm merkez delikli dış yüzeyi kısmen karbonize olmuş silindirik briketler elde edilmiştir. Briketlerin yoğunluğu, kırılma direnci, dayanıklılık direnci, basınç direnci ve su alma direnci sırası ile ortalama 1195 kg m⁻³, % 99.4, % 97.7, 2780 N ve % 80.5 olarak bulunmuştur. Briketleme makinesinin kapasitesi ve elektrik enerjisi tüketimi ise sırası ile ortalama 94 kg h⁻¹ ve 7.97 kWh olmuştur.

ARTICLE INFO

Received 06 November 2014
Received in revised form 13 November 2014
Accepted 14 November 2014

Keywords:

Biomass energy
Agricultural residue
Briquette

ABSTRACT

Agricultural residues are important sources of biomass energy in Turkey. In this study, sunflower stalks, one of the significant agricultural residues in some parts of Turkey, were briquetted in a conical screw type briquetting machine with die-heater and tapered die, with an electrical motor power of 15 kW. Moisture content and geometric main diameter of milled sunflower stalks used in the experiment were 10% and 0.705 mm, respectively. In the study, briquette physical properties such as density, shatter resistance, tumbler resistance, compressive resistance and water resistance on the quality of briquettes, and briquette production capacity and energy consumption of briquetting machine were determined. Before testing, the briquettes were kept in a room at 23.5°C temperature and 65% relative humidity during 7 days. At the end of the study, cylindrical briquettes were obtained at an external diameter of 56 mm with a central hole of 25 mm, and all surfaces of briquettes were partially carbonized due to die heating during briquetting process. The average density, shatter resistance, tumbler resistance, compressive resistance, water resistance and humidity resistance of sunflower stalk briquettes were found to be 1195 kg m⁻³, 99.4%, 97.7%, 2780 N and 80.5%, respectively. The average briquette production capacity and electrical energy consumption of briquetting machine were found to be 94 kg h⁻¹ and 7.97 kWh, respectively.

1. Giriş

Türkiye, nüfusu yıldan yıla hızla artan ve oldukça hızlı gelişme gösteren bir ülkedir. Dolayısı ile nüfus artışı ve gelişmişliğe bağlı olarak enerji tüketimi hızla artarken, yerli enerji üretimi yıllardır sabit kalmıştır. Türkiye’nin enerji üretimi 2012 yılı sonunda 32 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol) olurken, birincil enerji arzı yaklaşık 120 MTEP, nihai enerji tüketimi ise 89 MTEP olmuştur. 2012 yılı sonunda enerji üretiminin enerji arzını karşılama oranı % 26.6 olmuştur (ETKB 2014).

Enerji üretiminde yerli kaynaklarının kullanımı yanında, çeşitliliğin de sağlanması hem ulusal enerji güvenliğini hem de döviz kaynaklarının ülke içinde kalarak yatırıma dönüşümünü sağlayacaktır. Türkiye hem coğrafi yapısı hem de geniş tarımsal üretim alanları ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı açısından avantajlı bir konumdadır.

Türkiye 2013 yılı geçici verilerine göre yaklaşık 20 milyon hektar işlenen tarım alanı ile tarımsal potansiyeli zengin olan bir ülkedir. Bu alanların 15.6 milyon hektar bölümü ekilirken, geri

kalan alan ise nadasa bırakılmıştır (TUİK 2014). Tarımsal üretim alanlarında yaygın olarak tahıllar, yağlı tohumlar ve yumrulu ürünler yetiştirilmektedir. Yağlı tohumlar içerisinde ayçiçeği üretimi ön plana çıkmaktadır. Ayçiçeği üretim alanı son 10 yılda yaklaşık 60 bin hektar artarak 2013 yılı sonunda 610 bin hektar olmuştur. Üretim alanı yaklaşık % 9 artarken, üretim miktarı 10 yıl içerisinde % 59 artarak 1.5 milyon tona çıkmıştır (TUİK 2014). Ayçiçeği üretim alanlarından büyük miktarlarda tarımsal artık çıkmaktadır. 2005 yılı verilerine göre bu değer 2.26 milyon ton olmuştur (Başçetinçelik ve ark. 2005). Ancak, son yıllardaki teknolojik gelişmelere (sulama, gübreleme vb.) bağlı olarak ayçiçeği üretimindeki % 59'luk artışın çıkan miktarını da önemli derecede artıracakları düşünülmektedir. Dolayısı ile ayçiçeği üretim alanlarından çok daha fazla tarımsal artık çıkması mümkündür. Ayçiçeği sapsarı genel olarak üreticiler tarafından tarladan toplanarak kışın yakacak olarak kullanılmakta, bir parçalayıcı yardımı ile parçalanarak toprağa karıştırılmakta veya tarla kenarlarında toplandıktan sonra yakılmaktadır. Ayçiçeği sapsarının bu şekilde değerlendirilmesi hem ekonomik olmamakta hem de verimli kullanılamamaktadır. Ayçiçeği sapsarı doğrudan enerji kaynağı olarak kullanım için düşük yoğunluk ve yüksek nem gibi dezavantajlara sahiptir. Bu durum taşımada, nakliyede ve depolamada problemlere neden olmakta, nakliye ve depolama maliyetlerini artırmaktadır.

Ülkemizde, tarımsal artıkların enerji kaynağı olarak katı yakıt formunda değerlendirilmesi son yıllarda büyük önem kazanmaktadır. Tarımsal artıkların özellikleri iyileştirilmiş katı yakıt formunda kullanılmasında en etkin yollardan birisi de briket formuna getirilmesi işlemidir.

Biyokütlenin briketlenmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda farklı tip briketleme makinelerinde farklı özelliklere sahip biyokütle örnekleri kullanılmış ve bunlar ile ilgili sonuçlar ortaya konulmuştur. Çalışmalar sonunda materyal yoğunluğunun, nem içeriğinin ve parçacık boyutunun briket kalitesini ve makine kapasitesini etkilediği, elde edilen briketlerin oldukça sağlam olduğu, sıkıştırma basıncının artmasının briket kalitesini artırdığı, daha küçük boyutlu materyallerin daha iyi briketlendiği ve materyal ön ısıtma işleminin makinenin enerji tüketimini düşürdüğü bildirilmiştir (Aqa ve Bhattacharya 1992; Acaroğlu ve ark. 2002; Al-Widyan ve ark. 2002; Kürklü ve Bilgin 2007; Tumuluru ve ark. 2011; Brozek ve ark. 2012; Karunanithy ve ark. 2012; Onuegbu ve ark. 2012; Ahiduzzaman ve Sadrul Islam 2013; Karaca ve Başçetinçelik 2014; Rajkumar ve Venkatachalam 2013; Bilgin ve ark. 2014).

Bu çalışmada tarımsal üretim alanlarından çıkan ayçiçeği sapsarının kurutulup öğütüldükten sonra konik helezon tip briketleme makinesinde briketlenmesi, briketlerin kalitesi ile ilgili fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve briketleme makinesinin briket üretim kapasitesi ile enerji tüketim değerlerinin ölçülmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

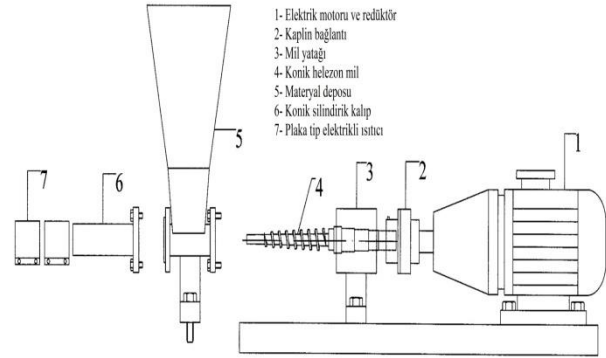
2.1. Materyal

Denemeler Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Atölyesinde yürütülmüştür.

Çalışmada briketlenecek materyal olarak tarımsal üretim alanlarından toplanan ayçiçeği (*Helianthus annuus*) sapsarı

kullanılmıştır. Briketleme işlemi süresince hammadde içerisinde herhangi bir yapıştırıcı materyal kullanılmamıştır.

Öğütülmüş ayçiçeği sapsarının briketlenmesinde; konik silindirik kalıplı, kalıp ısıtmalı ve 15 kW motor gücüne sahip konik helezon tip briketleme makinesi kullanılmıştır. Makinenin motor devri redüktör kullanılarak 323 min⁻¹'e düşürülmüştür. Daha sonra sisteme hız kontrol ünitesi bağlanarak motor devri redüktörde 0-600 min⁻¹ arasında ayarlanabilir hale getirilmiştir. Briketleme makinesinin teknik çizimi ve montaj sırası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Konik helezon tip briketleme makinesi.

Figure 1. Conical screw type briquetting machine.

Briketlerin dayanıklılık direncinin belirlenmesinde ASAE S269.4 (2000) standardına göre yapılmış, elektrik motor gücü 0.75 kW, briketlerin yerleştirildiği kafes ölçüleri 300x300x430 mm, kafes devri 40 min⁻¹ ve kafes tel örgü açıklığı 12 mm olan test düzeneği kullanılmıştır.

Briketlerin basınç direncinin belirlenmesinde 60 ton kapasiteli, üzerinde 60 tona kadar uygulanan yükleri ölçebilen yük hücresi (load cell) bulunan, valf ayarları değiştirilerek uygulama yükünün 0-60 ton arasında değiştirilebildiği ve uygulanan yüklerin anında bilgisayara aktarılıp izlenebildiği hidrolik tip test cihazı kullanılmıştır.

Kalıbı ısıtmak için 2.2 kW gücünde 400°C ısıtma kapasiteli, dijital termostat kontrollü plaka tip elektrikli ısıtma sistemi kullanılmıştır. Briketlerin yoğunluklarının belirlenmesinde ise faz değişim sıcaklığı 45-50°C ve yoğunluğu 850 kg m⁻³ olan parafin kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1. Materyalin briketlenmesi

Ayçiçeği sapsarı hasattan sonra tarladan toplanmış ve dış ortamda yaklaşık % 10 nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra ayçiçeği sapsarı 6 mm elek delik çapına sahip çekiçli değirmende öğütülerek briketleme işlemi için uygun boyutlara getirilmiştir. Denemelerde kullanılan materyalin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Briketleme işlemine geçmeden önce kalıp, ısıtma sistemi ile yaklaşık 300°C'ye kadar ısıtılmış ve briketleme işlemi süresince de ısıtma sistemi açık olarak bırakılmıştır. Deneme materyali materyal deposuna elle yüklenmiş ve bu işlem deneme süresince devam etmiştir. Denemelerde helezon devri 300 min⁻¹ olarak ayarlanmıştır. Materyal deposuna yüklenen materyal konik

helezon mil tarafından kalıp içerisine sürekli olarak iletilmiş ve kısa bir süre sonra briketler çıkmaya başlamış ve 56 mm çapında 25 mm merkez delikli, ısıtma sisteminden dolayı dış yüzeyi kısmen karbonize olmuş silindirik briketler elde edilmiştir. Briketleme işleminden sonra briketler soğumaya bırakılmış ve 7. gün sonunda fiziksel testler için ortalama 75 mm uzunluğunda kesilmiştir.

Çizelge 1. Denemelerde kullanılan öğütülmüş ayçiçeği saplarının fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Table 1. Physical and chemical properties of ground sunflower stalks used in the experiment.

Materyal	Nem içeriği (%)	Yoğunluk (kg m ⁻³)	Geometrik ortalama çap (mm)	Kül içeriği (%)	Alt ısıtma değeri (MJ kg ⁻¹)	
	10	140	0.705	9.76	16.92	
Elek Analizi						
Ayçiçeği sapı	0-0.425 mm	0.425-0.850 mm	0.850-1.180 mm	1.180-1.700 mm	1.700-2.000 mm	>2.000 mm
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	20.35	26.85	23.88	11.98	6.44	10.50

2.2.2. Makine kapasitesi ve enerji tüketimi

Briketleme makinesinin kapasitesinin belirlenmesi için, briketler çıkmaya başladıktan sonra, belirli miktar (yaklaşık 5 kg) materyalin briketlenmesi için geçen süre ölçülmüş ve materyal kütlesinin geçen süreye oranlanması ile makine kapasitesi kg h⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Briketleme makinesinin enerji tüketiminin belirlenmesinde üç fazlı elektrik sayacı kullanılmış ve makinenin elektrik enerjisi tüketimi kWh olarak belirlenmiştir. Makinenin özgül enerji tüketimi, elektrik enerjisi tüketiminin makine kapasitesine bölünmesi ile kWh t⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

2.2.3. Briket kalitesi ile ilgili özellikler ve testler

Briket fiziksel testleri, briket kalitesinin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır ve büyük önem taşımaktadır. Briket kalitesinin önemli göstergeleri olan briket yoğunluğu, kırılma direnci, dayanıklılık direnci, basınç direnci ve su alma direnci belirlenmiştir. Briketlerin sabit bir yapıya kavuşması için bütün briketler test öncesi 7 gün süre ile kapalı ortamda çevre şartlarında yaklaşık ortalama 23.5°C sıcaklıkta ve % 65 nemde bekletilmiştir.

Briketlerin kırılma ve dayanıklılık dirençleri belirlenirken, kırılan briket parçaları 20 mm açıklığa sahip elek kullanılarak elenmiş ve elek üzerinde kalan parçalar kayıp olarak değerlendirilmemiştir (CRA 1987). Fiziksel özelliklerle ilgili olarak bütün testler 3 tekrürlü olarak yapılmış ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Bütün testlerde briketler rastgele seçilmiştir.

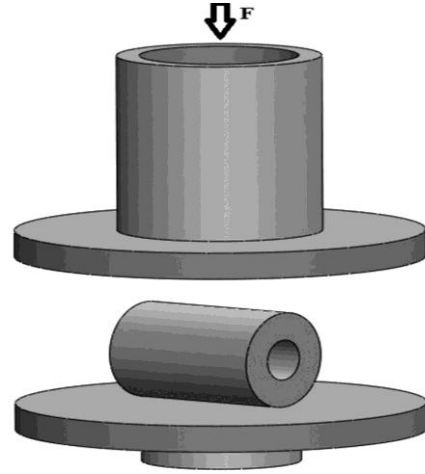
Briket yoğunluğu su yer değiştirme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Rabier ve ark. 2006). Bu testte, briketler önce parafinle kaplanmış ve daha sonra ölçekli kaptaki su içerisine daldırılmıştır. Yer değiştiren suyun miktarına bağlı olarak parafinsiz briketin hacmi bulunmuş ve briket yoğunluğu parafinsiz briket kütlesinin, briket hacmine bölünmesiyle kg m⁻³ olarak hesaplanmıştır.

Briket dayanıklılık direnci ASAE S269.4 (2000) standardına göre belirlenmiştir. Bu testte, 5 briket test düzeneğine yerleştirilmiş ve 40 min⁻¹'de 3 dakika döndürülmüştür. Döndürme işlemi öncesi ve sonrası briketler tartılmış ve test

süresince oluşan kütle kaybına bağlı olarak dayanıklılık direnci yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

Kırılma direncinin belirlenmesinde, 3 adet briket 1 m yükseklikten sert beton bir zemin üzerine serbest olarak 10 kez düşürülmüştür (Lindley ve Vossoughi 1989). Düşürme işlemi öncesi ve sonrası briketler tartılmış ve test sonunda oluşan kütle kaybına bağlı olarak kırılma direnci yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

Briketlerin basınç direnci, briketin kırılmadan önceki dayanabileceği maksimum kırılma yükü olarak tanımlanmakta ve sıkıştırma testi yoluyla belirlenmektedir (Kaliyan ve Morey 2009). Bu teste 3 briket ayrı ayrı iki plaka arasına yerleştirilmiş ve yukarıdan tek yönlü sıkıştırma kuvveti uygulanmıştır (Şekil 2). Uygulanan sıkıştırma kuvveti sabit oranda artarak briket kırılıncaya kadar devam etmiş ve uygulama yükleri test süresince bilgisayara aktarılmıştır. Briketlerin basınç direnci N, briketlerin özgül basınç direnci ise basınç direncinin briket uzunluğuna oranlanması yoluyla N/mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Briket basınç direnci testi.

Figure 2. Testing of the briquette compressive resistance.

Briketlerin su alma direnci, suyun içine daldırılan briket tarafından emilen suyun yüzde ölçüsü olarak tanımlanmaktadır (Lindley ve Vossoughi 1989). Bu testte, 3 briket ayrı ayrı 30 s süre ile 27°C sıcaklığındaki suya daldırılmıştır. Daldırma işleminin sonunda briketler tartılmış ve brikette meydana gelen kütle artışına bağlı olarak su alma direnci yüzde olarak hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Makine kapasitesi ve enerji tüketimi

Ayçiçeği saplarından elde edilen briketler için, briketleme makinesi kapasitesi, elektrik enerjisi tüketimi ve özgül enerji tüketimi sırası ile ortalama 94 kg h⁻¹, 7.97 kWh ve 84.79 kWh t⁻¹ olarak bulunmuştur. Ayrıca briketleme makinesinin boşta çalışırken 0.75 kWh, ısıtma sisteminin ise 1.92 kWh elektrik enerjisi tükettiği ölçülmüştür.

Bilgin ve ark. (2014) materyalin doğal akışının düzenli ve kesintisiz olmasının makine kapasitesini ve briketleme işlemini olumlu yönde etkilediğini bildirmiştir. Öğütülmüş ayçiçeği saplarının yoğunluğunun düşük olmasına ve materyal içerisinde beyaz süngerimsi yapıların oldukça fazla olmasına rağmen

materyalin doğal akışı oldukça düzenli olmuş, bu durum hem makine kapasitesini olumlu etkilemiş hem de briketleme işleminin oldukça başarılı bir şekilde gerçekleşmesini sağlamıştır. Makinenin briket üretim kapasitesi değeri [Bhattacharya ve ark. \(2002\)](#) ve [Ahiduzzaman ve Sadrul Islam \(2013\)](#) tarafından çeltik kavuzunun briketlenmesi için yapılan çalışmalarla benzerlik göstermiş, [Kürklü ve Bilgin \(2007\)](#) tarafından pamuk ve susam saplarının briketlenmesi için yapılan çalışmada elde edilen değerlerden daha yüksek, ancak [Grover \(1995\)](#), [Bilgin ve ark. \(2014\)](#), [Karaca ve Başçetinçelik \(2014\)](#) tarafından farklı biyokütle materyalleri için elde edilen değerlerin altında bulunmuştur.

Briketleme işleminde enerji tüketimi oldukça önemlidir. Enerji tüketiminin düşük olması üretim maliyetlerini azaltmakta ve işletme karlılığını artırmaktadır. Makinenin elektrik enerjisi ve özgül elektrik enerjisi tüketim değerlerinin birlikte değerlendirilmesi sonuçların yorumlanması açısından daha doğru olacaktır. Yapılan çalışmalarda farklı biyokütle materyalleri için ölçülen elektrik enerjisi tüketim değerleri yüksek bulunurken, makinenin briket üretim kapasitesinin fazla olmasına bağlı olarak, makinenin özgül elektrik enerjisi tüketim değerleri düşük bulunmuştur ([Bilgin ve ark. 2014](#)). [Kürklü ve Bilgin \(2007\)](#) tarafından yapılan bir çalışmada ise farklı biyokütle örnekleri için makinenin elektrik enerjisi tüketim değerleri düşük, fakat özgül elektrik enerjisi tüketim değerleri yüksek bulunmuştur. Makinenin enerji tüketim değerleri [Ahiduzzaman ve Sadrul Islam \(2013\)](#) tarafından elde edilen değerlerle benzerlik göstermiş, fakat literatürde verilen ortalama değerlerin altında kalmıştır ([World Bank 1987](#) (110 kWh t⁻¹); [Eriksson ve Prior 1990](#) (120 kWh t⁻¹)).

3.2. Briket fiziksel özellikleri

Ayçiçeği sapı briketlerinin kalitesi ile ilgili briket yoğunluğu, dayanıklılık direnci, kırılma direnci, basınç direnci ve su alma direnci ile briketlerin makineden çıkış anında ve 7. gün sonundaki nem içeriği değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Ayçiçeği sapı briketlerinin fiziksel özellikleri.

Table 2. Physical properties of sunflower stalk briquettes.

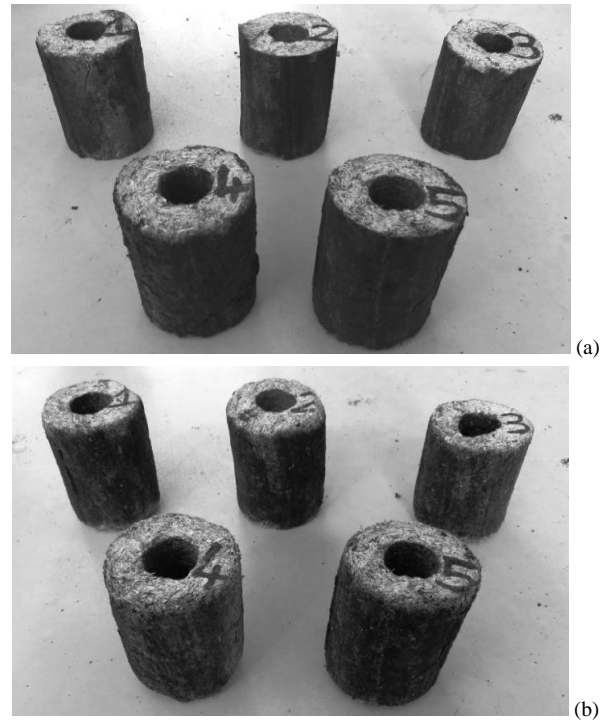
Briket	Nem içeriği (%)		Yoğunluk (kg m ⁻³)	Dayanıklılık direnci (%)	Kırılma direnci (%)	Basınç direnci (N)	Su alma direnci (%)
	Çıkış	7.gün					
Ayçiçeği sapı	6.7	8.7	1195	97.7	99.4	2780	80.5

Materyallerin briketleme öncesi % 10 olan nem içeriği, ısıtmanın etkisiyle briketleme sonunda % 6.7’ye düşmüştür. Daha sonra briketlerin nem içeriği, briketlerin 7 gün süresince kapalı ortamda bekletilmeleri sonucu, havadan bir miktar nem alarak % 8.7’ye çıkmış, yine de briketleme öncesindeki değerlerin altında kalmıştır.

Çizelge 2 incelendiğinde, briket kalitesinin önemli göstergelerinden biri olan briket yoğunluğu, hammadde yoğunluğunun düşük ve herhangi bir yapıştırıcı madde kullanılmamasına rağmen, ortalama 1195 kg m⁻³ gibi oldukça yüksek bir değerde elde edilmiştir. Öğütülmüş ayçiçeği sapları hammadde yoğunluğuna göre yaklaşık 8.5 kat sıkıştırılmıştır. Elde edilen briket yoğunluğu değeri literatürde verilen sınır değerler arasında yer almıştır (1000-1400 kg m⁻³, [Grover ve Mishra 1996](#)). Briket yoğunluğu için elde edilen değer [Al-Widyan ve ark. \(2002\)](#), [Kürklü ve Bilgin \(2007\)](#), [Kaliyan ve Morey \(2009\)](#) ve [Bilgin ve ark. \(2014\)](#) tarafından farklı biyokütle örnekleri için elde edilen değerlere yakın, fakat [Plistil](#)

[ve ark. \(2005\)](#), [Kakitis ve ark. \(2011\)](#), [Onuegbu ve ark. \(2012\)](#), [Saikia ve Baruah \(2013\)](#) ve [Gado ve ark. \(2014\)](#) tarafından hidrolik piston tip briketleme makinesinde farklı biyokütle örnekleri için elde ettikleri değerlerden oldukça yüksek bulunmuştur.

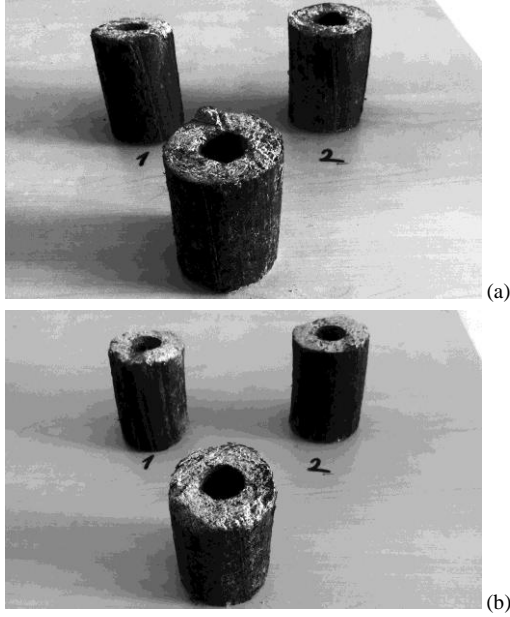
Briketlerin elde edildikten sonra yakıncaya kadar geçen zaman diliminde taşıma, nakliye ve depolama süresince sağlam kalması oldukça önemlidir. Dayanıklılık (aşınma) direnci briketlerin özellikle mekanik ya da pnömatik sistemlerle taşınma özelliklerinin tanımlanması açısından önemlidir ([Kaliyan ve Morey 2009](#)). Ayçiçeği sapı briketlerinin dayanıklılık direnci % 97.7 bulunmuş, bu durum briketlerin oldukça sağlam olduğunu göstermiştir. Briketlerin dayanıklılık direnci testi öncesi ve sonrası görünüşleri Şekil 3’te verilmiştir. Şekil 3’te görüldüğü gibi test sonrası briketlerde herhangi bir çatlama ve kırılma meydana gelmemiştir. Test sonrası meydana gelen kayıplar sadece briket uçlarının çarpma-çarpışma nedeniyle ufalanması ve briketleme esnasında briket yüzeylerinde ince bir kabuk şeklinde oluşan karbonize kısımların dökülmesi sonucu oluşmuştur.



Şekil 3. Ayçiçeği sapı briketlerinin dayanıklılık testi öncesi (a) ve sonrası görünüşü (b).

Figure 3. A view of sunflower stalk briquettes before (a) - after (b) tumbler testing.

Kırılma direnci (darbe dayanımı) testleri yoğunlaştırılmış ürünlerin özellikle nakliye araçlarından boşaltılması ya da ambalaj paketlerine doldurulması esnasında karşılaşılan kuvvetlerin simülasyonu için yapılmaktadır ([Kaliyan ve Morey 2009](#)). Briketlerin kırılma direnci değeri ortalama % 99.4 gibi oldukça yüksek bulunmuş ve briketlerin test öncesi ve sonrası görünüşleri Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 4’te görüldüğü gibi test sonunda briketlerde dayanıklılık direncinde olduğu gibi herhangi bir kırılma ve çatlama meydana gelmemiş, neredeyse briketler test sonunda test öncesi görünüşlerini korumuşlardır.

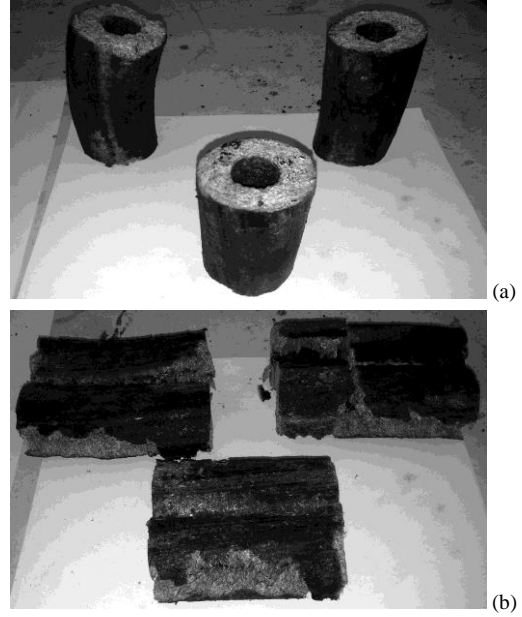


Şekil 4. Ayçiçeği sapı briketlerinin kırılma testi öncesi (a) ve sonrası (b) görüntüleri.

Figure 4. A view of sunflower stalk briquettes before (a) - after (b) shatter testing.

Farklı nem içeriğine ve partikül boyutuna sahip biyokütle örneklerinden farklı briketleme makineleri ve sıkıştırma yöntemleri kullanılarak elde edilen briketlerin dayanıklılık ve kırılma dirençleri için elde edilen değerler açısından farklı sonuçlar ortaya konulmuş, elde edilen değerlerin % 30-99 arasında değiştiği belirtilmiştir (Kürklü ve Bilgin 2007; Brozek ve ark. 2012; Karunanithy ve ark. 2012; Davies ve Abolude 2013; Obi ve ark. 2013; Rajkumar ve Venkatachalam 2013; Saikia ve Baruah 2013; Bilgin ve ark. 2014). Sonuç olarak, ayçiçeği sapı briketleri için elde edilen dayanıklılık ve kırılma direnci değerleri literatür verileri ile paralellik göstermiş, hatta çoğu çalışmada elde edilen değerlerden daha yüksek bulunmuştur.

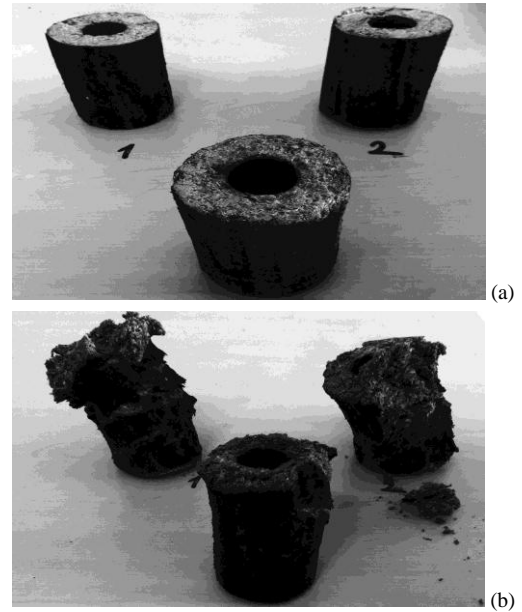
Basınç direnci testi, briketlerin ambalaj paketleri veya silolarda depolanması, taşıma ve nakliye süresince üstteki ürünlerin alttaki ürünlere uygulamış olduğu basma gerilmesinin simülasyonu için yapılmaktadır (Kaliyan ve Morey 2009; Kers ve ark. 2010). Briketlerin maksimum basınç direnci 2551-3218 N arasında değişmiş ve ortalama 2780 N, briketlerin özgül basınç direnci ise ortalama 24 N mm^{-1} olarak hesaplanmıştır. Briketlerin test öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5'te görüldüğü üzere, briketlerin test sonunda ortasındaki delikten dolayı uzunlamasına kırıldıkları görülmüştür. Basınç direnci için elde edilen değer Kaliyan ve Morey (2009), Kakitis ve ark. (2010), Davies ve Davies (2013) ve Supatata ve ark. (2013) tarafından farklı biyokütle örnekleri için elde edilen değerlere yakın ve yüksek, Plistil ve ark. (2005), Kakitis ve ark. (2011), Brozek ve ark. (2012), Karaca ve Başçetinçelik (2014) tarafından elde edilen değerlerin oldukça altında kalmıştır. Briketlerin merkez delikli olması, briketlerin basınç direncini düşürmüştür. Ancak, briketlerin merkez delikli olması briketlerin yanma karakteristiklerini iyileştirmekte ve yanma süresince meydana gelen emisyonların düşmesini sağlamaktadır (Kürklü ve Bilgin 2007).



Şekil 5. Ayçiçeği sapı briketlerinin basınç direnci testi öncesi (a) ve sonrası (b) görüntüsü.

Figure 5. A view of sunflower stalk briquettes before (a) - after (b) compressive resistance testing.

Briketlerin, nakliye ve depolama süresince kısa süreli de olsa yüksek neme ya da yağmura maruz kalması briket kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir (Kaliyan ve Morey 2009). Bu nedenle briketlerin su alma direncinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Çizelge 2'de görüldüğü gibi briketlerin su alma direnci ortalama % 80.5 olarak belirlenmiştir. Briketlerin, 30 saniye gibi kısa süreli de olsa suyun içinde kalmış olması ağırlıkça bünyelerine fazla su almamalarına rağmen, özellikle briket uç noktalarından su alarak hızlı bir şekilde şiştikleri ve briket özelliklerini kayb ettikleri görülmüştür (Şekil 6). Briketler



Şekil 6. Ayçiçeği sapı briketlerinin su alma direnci testi öncesi (a) ve sonrası (b) görüntüsü.

Figure 6. A view of sunflower stalk briquettes before (a) - after (b) water resistance testing.

su içerisinde ortalama 3.5 dakika sonunda tamamen dağılmıştır. Ancak, briketlerin elde edildikten sonra hava ve su geçirmeyecek şekilde ambalajlanması su ve nemli havayla temas etmesi sonucu oluşabilecek olumsuzlukları önleyecektir. Su alma direnci için elde edilen değerler Kürklü ve Bilgin (2007) ve Bilgin ve ark. (2014) tarafından farklı biyokütle örnekleri için elde edilen değerlerle benzerlik göstermiştir.

Sonuç olarak briket kalitesi ile ilgili test sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde ayçiçeği saplarının elde edilen briketlerin oldukça sağlam yapıda oldukları söylenebilir. Briketlerin elde edildikten sonra iyi bir şekilde ambalajlanması özellikle yağmur ve yüksek nemin neden olabileceği etkileri önleyebilir, aynı zamanda briketlerin uzun süre aynı kalitede depolanmasını sağlayabilir. Elde edilen briketler evlerin ve tarımsal yapıların (sera, barınak v.b.) ısıtılması için soba ve kazanlarda ya da ısı ve güç santrallerinde katı yakıt olarak kullanılabilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Ayçiçeği saplarının helezon tip briketleme makinesinde briketlenmesi sonucunda edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir;

- Ayçiçeği sapları herhangi bir yapıştırıcı madde kullanılmadan yüksek kalitede briketlenmiştir,
- Briketlerin dayanıklılık ve kırılma direnci değerleri oldukça yüksek bulunmuştur,
- Nem içeriği ve parçacık boyutu briketleme için oldukça uygun bulunmuştur,
- Materyaller yaklaşık 8.5 kat daha yüksek yoğunluğa sıkıştırılmıştır,
- Briketlerin suya karşı dayanımları oldukça düşük bulunmuş, ancak iyi bir ambalajlama ile uzun süre ilk elde edildikleri gibi korunabilirler,
- Briketlerin ısıtma sistemlerinde, ısı ve güç santrallerinde katı yakıt olarak kullanılması mümkündür,
- Ayçiçeği sapları daha yüksek makine kapasitesi ve daha düşük özgül enerji tüketimi değerleri elde etmek için yüksek helezon devirlerinde, farklı nem içeriklerinde ve farklı kalıp sıcaklıklarında briketlenmelidir,
- Tarımsal artıkların yoğun olarak elde edildiği bölgelere briketleme tesisleri kurularak, bu tür artıkların ekonomiye kazandırılması gereklidir.

Kaynaklar

Acaroğlu M, Ögüt H, Örnek MN (2002) Biyokütlenin briketlenmesi ve biyokütle briketlerinin fiziksel özellikleri üzerine bir araştırma. IV. Ulusal Temiz Enerji Kongresi Bildiri Kitabı, İstanbul, s. 819-831.

Ahiduzzaman Md, Sadrul Islam AKM (2013) Development of biomass stove for heating up die barrel of rice husk briquette machine. *Procedia Engineering* 56: 777-781.

Al-Widyan MI, Al-Jail HF, Abu-Zreig MM, Abu-Hamdeh NH (2002) Physical durability and stability of olive cake briquettes. *Canadian Biosystems Engineering* 44: 41-45.

Aqa S, Bhattacharya SC (1992) Densification of preheated sawdust for energy conservation. *Energy* 17 (6): 575-578.

ASAE S269.4 (2000) Cubes, pellets, and crumbles—definitions and methods for determining density, durability, and moisture content. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE).

Başçetinçelik A, Karaca C, Öztürk HH, Kaçıra M, Ekinci K (2005) Agricultural biomass potential in Turkey. 9th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture and 27th

International Conference of CIRG Section IV, İzmir, Turkey, pp. 195-199.

Bhattacharya SC, Leon MA, Rahman MdM (2002) A study on improved biomass briquetting. *Energy for Sustainable Development* 6 (2): 106-110.

Bilgin S, Ertekin C, Kürklü A (2014) Enerji bitkisi olarak farklı kamış türlerinin briketlenmesi üzerine bir araştırma. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 27 (1): 43-50.

Brozek M, Novakova A, Kolarova M (2012) Quality evaluation of briquettes made from wood waste. *Research in Agricultural Engineering* 58: 30-35.

CRA (1987). The la densification de la biomass. Commission des Commuunates Europeennes. Centre de Recherches Agronomiques.

Davies RM, Abolude DS (2013) Mechanical handling characteristics of briquettes produced from water hyacinth and plantain peel as binder. *Journal of Scientific Research and Reports* 2 (1): 93-102.

Davies RM, Davies OA (2013) Physical and combustion characteristics of briquettes made from water hyacinth and phytoplankton scum as binder. *Journal of Combustion* 2013: 1-7.

Eriksson S, Prior M (1990) The Briquetting of agricultural wastes for fuel. FAO Environment and Energy Paper 11, FAO of the UN, Rome.

ETKB (2014) Enerji İstatistikleri. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <http://www.enerji.gov.tr>, Erişim: Ekim 2014.

Gado IH, Ouiminga SK, Daho T, Yonli AH, Sougoti M, Koulidiati J (2014) Characterization of briquettes coming from compaction of paper and cardboard waste at low and medium pressures. *Waste and Biomass Valorization* 5: 725-731.

Grover PD (1995) Biomass briquetting: Technical and feasibility analysis under biomass densification research project (phase II). Proceeding of the International Workshop on Biomass Briquetting. Edited by P.D. Grover and S.K. Mishra, New Delhi, India, pp.13-23.

Grover PD, Mishra SK (1996) Biomass briquetting: Technology and practices. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok.

Kakitis A, Nulle I, Ancans D (2010) Durability of the arranged structure biomass briquettes. *Engineering for Rural Development* 27: 285-289.

Kakitis A, Nulle I, Ancans D (2011) Mechanical properties of composite biomass briquettes. *Enviroment. Technology. Resources Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference*, Volume 1, Latvia, pp.175-183.

Kaliyan N, Morey RV (2009) Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy* 33: 337-359.

Karaca C, Başçetinçelik A (2014) Defne yaprağının briketleme ve yanma özellikleri. *Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar* 4. Ulusal Çalıştay, Samsun, s. 131-138

Karunanithy C, Wang Y, Muthukumarappan K, Pugalendhi S (2012) Physiochemical characterization of briquettes made from different feedstocks. *Biotechnology Research International* 2012: 1-12.

Kers J, Kulu P, Arunjit A, Laurmaa V, Krizan P, Soos L, Kask Ü (2010) Determination of physical, mechanical and burning characteristics of polymeric waste material briquettes. *Estonian Journal of Engineering* 16 (4): 307-316.

Kürklü A, Bilgin S (2007) Pamuk ve susam saplarının briketlenmesi üzerine bir araştırma. *Tarım Makinaları Bilim Dergisi* 3 (3): 151-159.

Lindley JA, Vossoughi M (1989) Physical properties of biomass briquets. *Trans ASAE* 32: 361-366.

Obi OF, Akubuo CO, Okonkwo WL (2013) Development of an appropriate briquetting machine for use in rural communities. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*

- (IJEAT) 2 (4): 578-582.
- Onuegbu TU, Ogbu IM, Ejikeme C (2012) Comparative analyses of densities and calorific values of wood and briquettes samples prepared at moderate pressure and ambient temperature. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences* 2: 40-45.
- Plistil D, Brozek M, Malatak J, Roy A, Hutla P (2005) Mechanical characteristics of standard fuel briquettes on biomass basis. *Res. Agr. Eng.* 2: 66-72.
- Rabier F, Micahael T, Thortsen B, Hans H, Peter DJ, Josef R, Juan C, Miguel F (2006) Particle density determination of pellets and briquettes. *Biomass and Bioenergy* 30: 954-963.
- 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: 414-417.
- Saikia M, Baruah D (2013) Analysis of physical properties of biomass briquettes prepared by wet briquetting method. *International Journal of Engineering Research and Development* 6 (5): 12-14.
- Supatata N, Buates J, Hariyanont P (2013) Characterization of fuel briquettes made from sewage sludge mixed with water hyacinth and sewage sludge mixed with sedge. *International Journal of Environmental Science and Development* 4 (2): 179-181.
- TÜİK (2014) Bitkisel Üretim İstatistikleri, Tarım ve Orman Alanları, Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr>, Erişim: Ekim 2014.
- Tumuluru JS, Tabil LG, Song Y, Iroba KL, Meda V (2011) Effect of process variables on the quality attributes of briquettes from wheat, oat, canola and barley. *ASABE Annual International Meeting, Kentucky, USA*, pp. 1-22.
- World Bank (1987) Sawmill residues utilization in Ghana. *ESMAP Report 074/87*.