



## Enerji bitkisi olarak farklı kamış türlerinin briketlenmesi üzerine bir araştırma

### A study on briquetting of different reed species as an energy crop

Sefai BİLGİN<sup>1</sup>, Can ERTEKİN<sup>1</sup>, Ahmet KÜRKLÜ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, 07070 Antalya

<sup>2</sup> Serasis-Sera Sistemleri Danışmanlık Ltd. Şti., Antalya

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

#### MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi 27 Ocak 2014  
Düzeltilme tarihi 12 Mart 2014  
Kabul tarihi 22 Nisan 2014

#### Anahtar Kelimeler:

Biyokütle enerjisi  
Enerji bitkisi  
Briketleme

#### ÖZ

Bu çalışmada, enerji bitkisi olarak dev kamış (*Arundo donax*) ve sazlık kamış (*Phragmites australis*) bitkilerinin briketlenmesi ve briketlerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Materyallerin briketlenmesi için 15 kW gücünde konik kalıplı ve kalıp ısıtmalı konik helezon tip briketleme makinesi kullanılmıştır. Briketlerin fiziksel özellikleri ile ilgili olarak yoğunluk, dayanıklılık direnci, kırılma direnci, su alma direnci, nem içeriği ve eşdeğer nem içeriği değerleri belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada, briketlerin ısı değerleri, briketleme makinesinin kapasitesi ve özgül enerji tüketimi belirlenmiştir.

Çalışma sonunda ortalama 57 mm çapında ve 25 mm merkez delikli yüzeyi karbonize olmuş silindirik briketler elde edilmiştir. Fiziksel testler sonunda briketlerin yüksek yoğunluk, dayanıklılık direnci, kırılma direnci, su alma direnci ve eşdeğer nem içeriklerinden dolayı oldukça sağlam yapıda oldukları belirlenmiştir. Dev kamış ve sazlık kamış bitkileri briketlerinin yoğunlukları sırası ile ortalama 1150 kg m<sup>-3</sup> ve 1017 kg m<sup>-3</sup>, alt ısı değerleri 17.99 MJ kg<sup>-1</sup> ve 17.84 MJ kg<sup>-1</sup> makine kapasitesi 170 kg h<sup>-1</sup> ve 110 kg h<sup>-1</sup>, makinenin özgül enerji tüketimi ise 0.0753 kWh kg<sup>-1</sup> ve 0.0841 kWh kg<sup>-1</sup> bulunmuştur.

#### ARTICLE INFO

Received 27 January 2014  
Received in revised form 12 March 2014  
Accepted 22 April 2014

#### Keywords:

Biomass energy  
Energy crop  
Briquetting

#### ABSTRACT

This study aimed at briquetting of giant reed (*Arundo donax*) and common reed (*Phragmites australis*) as an energy crop and determination of its physical properties. In the experiments, a conical screw type briquetting machine with tapered die and die-heater was used for briquetting of raw materials and its power is 15 kW. Physical properties of briquettes such as briquette density, durability index, shatter index, water resistance, moisture content and equivalent humidity content were determined. In this study, lower heating value of briquettes, capacity and specific energy consumption of briquetting machine were also determined.

During the briquetting process, 57 mm diameter briquettes with a central hole of 25 mm were produced and surface of briquette was partially carbonized due to heating system affecting the surface temperature. The result of physical tests showed that the produced giant and common reed briquettes were quite strong due to high density, tumbler index, shatter index, water resistance and equivalent humidity content. The average densities and the lower heating values of giant and common reed briquettes produced was 1150 kg m<sup>-3</sup> and 1017 kg m<sup>-3</sup>, and 17.99 MJ kg<sup>-1</sup> and 17.84 MJ kg<sup>-1</sup>, respectively. Average briquette production capacity and specific energy consumption of briquetting machine for giant and common reed briquettes were found to be 170 kg h<sup>-1</sup> and 110 kg h<sup>-1</sup>, and 0.0753 kWh kg<sup>-1</sup> and 0.0841 kWh kg<sup>-1</sup>, respectively.

## 1. Giriş

Birçok ülkede özellikle 1973 enerji krizinden sonra petrol kökenli enerji kaynaklarının yerine, çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar yoğunlaşmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan, çevreyi koruyan ve kirletmeyen, tüm dünyada oldukça güncel olan enerji kaynaklarından birisi de biyokütle enerjisidir. Biyokütle kaynakları olarak; enerji bitkileri ve kısa döngülü enerji ormanları, tarımsal ve bitkisel artıklar, hayvansal artıklar, orman

ürünleri ve artıkları, endüstriyel artıklar, kentsel katı ve sıvı artıklar ve sucul bitkiler kullanılmaktadır.

Biyokütle kaynakları içerisinde enerji bitkileri önemli bir yer tutmaktadır ve son yıllarda yüksek büyüme hızlarına sahip hatta verimsiz topraklarda bile yetişebilen enerji bitkileri üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bitkiler fotosentez sırasında, atmosferik karbonun tespitine göre C<sub>3</sub> ve C<sub>4</sub> bitkileri olarak

sınıflandırılmaktadır. Bitkilerde gerçekleşen fotosentez işlemindeki CO<sub>2</sub>'nin indirgenmesi sırasında, ilk kararlı ürün olarak 3 karbonlu (C) şekerleri oluşturan bitkiler C<sub>3</sub>, 4 karbonlu (C) şekerleri oluşturan bitkiler de C<sub>4</sub> bitkileri olarak adlandırılmaktadır (Öztürk 2012). C<sub>4</sub> ve C<sub>3</sub> bitkileri yüksek oranda güneş ışığı alan bölgelerde yetişebilmeleri, suyu çok verimli olarak kullanabilmeleri, düşük CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında dahi fotosentez yapabilmeleri, ışığı kullanma yeteneklerinin yüksek olması ve diğer bitki türlerine göre mevsimsel kuraklığa daha dayanıklı olmaları nedeniyle önem taşımaktadır.

Enerji bitkileri içerisinde hemen hemen her türlü koşullarda ve doğal olarak yetişebilen, bazı türlerinde yılda iki kez verim alınabilen ve bir C<sub>3</sub> bitki grubunda yer alan bitkilerinden birisi de kamyş (kargı) türleridir (Scragg 2009). Kamyş bitkileri çok yıllık bitkiler olup, oldukça dayanıklı bir yapıya sahiptir ve çoklu dal şeklinde büyümektedir. Bitki boyları, türe bağlı olarak 3-9 m arasında olup, tropikal, sıcak ılıman iklime sahip alanlarda ve Akdeniz kuşağı çevresel şartlarında yetişebilmekte ve tohumdan ziyade rizomlarla çoğalmaktadır (Lewandowski ve ark. 2003; Scragg 2009). Yetişkin gövdenin içi boş ve çapı türe göre 2 cm'ye kadar olabilmektedir. Kamyş bitkisi dünya genelinde rüzgar kıran, dekoratif materyal, müzik enstrümanı, kağıt hammaddesi, bahçe çiti materyali ve erozyon kontrol materyali olarak tanınmaktadır (Lewis ve Jackson 2002; Shatalov ve Pereira 2006). Bitki dünya genelinde yüzyıllardır yetiştirilirken, ülkemizde yetiştiriciliği hala yapılmamakta olup doğal olarak sulak alanlarda yetişmektedir. Bitki genel olarak yılda bir kez kök bölgesine yakın bir şekilde hasat edilmekte ve sıcak iklim kuşağında etkin bir sulama ve gübreleme ile bitki türüne bağlı olarak birim hektar alandan yılda 9-63 t kuru madde verim alınabilmektedir (Hidalgo ve Fernández 2000; Lewandowski ve ark. 2003; Öztürk 2012). Kamyş bitkisi aynı zamanda düşük kül içeriğine (%4.65) ve yüksek ısı değere (18.87 MJ kg<sup>-1</sup>) sahiptir (Williams ve ark. 2013). Son yıllarda, yüksek biyokütle veriminden dolayı biyo-yakıt veya kağıt hammaddesi olarak değerlendirilmektedir (Mack 2008; Kering ve ark. 2012; Williams ve ark. 2007; Lewandowski ve ark. 2003; Angelini ve ark. 2009).

Kamyş bitkisi düşük yoğunluğa ve hasat sonrası doğrudan yakma için yüksek nem içeriğine sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı enerji eldesi için doğrudan yakılması çok etkin olmamakta, depolama ve nakliye işlemlerinde problemler meydana gelmektedir. Bu nedenle bu tür materyallerin enerji eldesi için katı yakacak olarak etkin bir biçimde kullanılma yollarından birisi de onların briketlenerek hacim ağırlıklarının artırılması işlemidir. Briketleme işlemi ile materyal yoğunluğu 100-200 kg m<sup>-3</sup> ten 1200 kg m<sup>-3</sup> e kadar çıkmaktadır (Grover ve Mishra 1996).

Biyokütlenin briketlenmesi konusunda literatürde yer alan çalışmalarda farklı teknolojiler ve materyaller kullanılarak briketleme işlemi yapılmış ve bu işlemler sonucunda elde edilen sonuçlar ortaya konulmuştur.

Literatürde yer alan çalışmalarda odun talaşı, yer fıstığı kabuğu, hardal bitkisi sapları, kahve kabukları, pirinç kabukları, şeker kamyışı posası, kanola sapı, yonca, ayçiçeği küspesi, C4 enerji bitkisi olan Miscanthus, pamuk ve susam sapı bitkileri helezon tip briketleme makinesinde briketlenmiştir (Aqa ve Bhattacharya 1992; Grover 1995; Acaroğlu ve ark. 2002; Kürklü ve Bilgin 2007). Çalışmalar sonucunda makine kapasitesinin, helezon devrine, materyal yoğunluğuna, nem içeriğine ve parçacık boyutuna bağlı olduğu belirtilmiş ve elde edilen briketlerin oldukça sağlam olduğu, daha küçük boyutlu

materyallerin daha iyi briketlendiği ve materyal ön ısıtma işleminin enerji tüketimini azalttığı belirlenmiştir.

Fengmin ve Mingquan (2011) tarafından yapılan çalışmada ise biyokütle materyali olarak dev kamyş ve sazlık kamyş bitkisi farklı oranlarda yapıştırıcı madde kullanılarak briketlenmiştir. Yapıştırıcı madde oranının artırılması briket kalitesini yükseltmiş, fakat ısı değeri düşürmüştür.

Bu çalışmada, enerji bitkisi olarak dev kamyş ve sazlık kamyş bitkisinin doğal yetişme ortamından toplanıp, kurutulup öğütüldükten sonra herhangi bir yapıştırıcı madde kullanılmadan konik helezon tip briketleme makinesinde briketlenmesi ve briket fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca briketlerin ısı değerleri, briketleme makinesinin kapasitesi ve enerji tüketim değeri belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Çalışmada denemeler, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Laboratuvarında yürütülmüştür.

Briketlenecek materyal olarak bir enerji bitkisi olan dev kamyş ve sazlık kamyş bitkileri kullanılmıştır (Şekil 1). Ülkemizde, bu bitkilerin kültüre alınıp yetiştiriciliği yapılmadığı için örnekler doğal yetişme ortamlarından toplanmıştır. Briketleme işlemi süresince herhangi bir yapıştırıcı madde kullanılmamıştır.



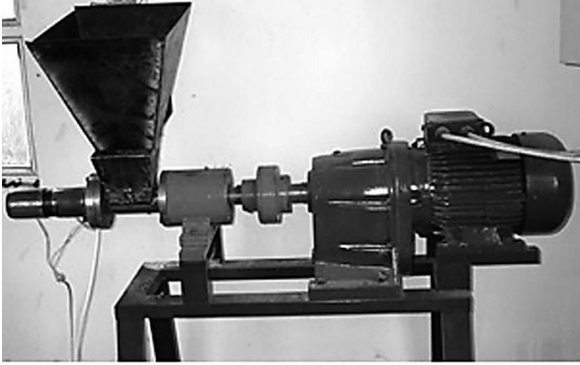
Şekil 1. Denemelerde kullanılan dev kamyş (a) ve sazlık kamyş (b) bitkisi

Figure 1. Giant reed (a) and common reed (b) plant used in the experiments

Materyallerin öğütülüp briketleme için uygun boyutlara getirilmesinde üç fazlı, 2 kW elektrik motor gücünde, 32

bıçaklı, elek delik çapı 4 mm ve materyal besleme ünitesi genişliği 300 mm olan çekiçli değirmen kullanılmıştır.

Öğütülmüş materyal örneklerinin briketlenmesinde konik kalıplı ve plakalı tip kalıp ısıtma sistemine sahip konik helezon tip briketleme makinesi kullanılmıştır (Şekil 2). Briketleme makinesi 15 kW elektrik motor gücünde olup,  $1950 \text{ min}^{-1}$  olan motor devri redüktör kullanılarak  $323 \text{ min}^{-1}$  seviyesine düşürülmüştür. Sistemin temel parçalarından biri olan konik helezon mil, briketlenecek materyallerin sürekli olarak ötelenme hareketi ile kalıp içerisine iletilmesi için kullanılmıştır. Konik helezon, mil yatağına rulmanlarla yataklanmış ve kaplin ile redüktöre bağlanmıştır. Denemelerde, silindirik briket çıktı elde etmek için iç yüzeyi konik olan (giriş çapı 62 mm, çıkış çapı 57 mm) 300 mm uzunluğa sahip silindirik kalıp kullanılmıştır. Kalıp iç yüzeyi boyunca, kalıp içerisindeki briketin helezon mil ile birlikte dönmesini önlemek ve sıkışan materyalin ileri doğru hareketini sağlamak için 5 adet (1.5 mm derinlik x 3 mm genişlik) kanal açılmıştır.

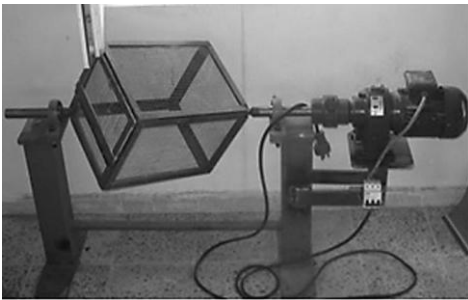


Şekil 2. Konik helezon tip briketleme makinesi  
Figure 2. Conical screw type briquetting machine

Isıtma sistemi 2.2 kW gücünde,  $400^\circ\text{C}$  ısıtma kapasiteli ve termostat kontrollü plakalı tip olup, briketleme işlemi süresince materyal ile kalıp yüzeylerinde oluşacak sürtünmeleri azaltmak, materyal içerisindeki ligninin serbest konuma geçerek yapıştırıcı görevi görmesini sağlamak ve kalıp ömrünü artırmak için kullanılmıştır.

Denemelerde kullanılan materyallerin nem içeriklerinin belirlenmesinde kurutma fırını (ETÜV) kullanılmıştır.

Briketlerin dayanıklılık dirençlerinin belirlenmesi işlemi ASAE S269.4 (2000) standardına göre yapılmıştır. İlgili standartta belirtilen kriterlere uygun olarak; elektrik motor gücü 0.75 kW, briketlerin yerleştirildiği kafes ölçüleri  $300 \times 300 \times 430$  mm, kafes devri  $40 \text{ min}^{-1}$  ve kafes tel örgü açıklığı 12 mm olan test düzeneği kullanılmıştır (Şekil 3).

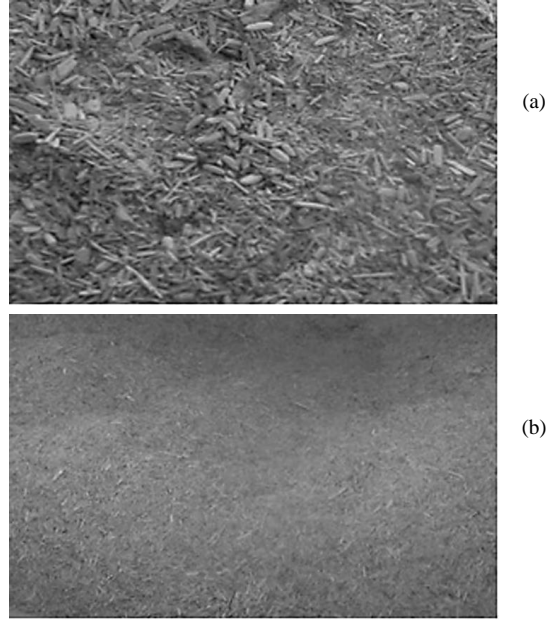


Şekil 3. Briket dayanıklılık direnci test düzeneği  
Figure 3. Durability tester for briquette

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Materyalin briketlemeye hazırlanması ve briketlenmesi

Dev kamyş ve sazlık kamyş bitkisi doğal yetiştirme ortamlarından toplanmış ve deneme alanına getirilmiştir. Materyaller dış ortamda yaklaşık %6.5-7 (%y.b) nem içeriğine kadar kurutulmuş ve daha sonra çekiçli değirmende öğütülerek briketleme için uygun boyutlara getirilmiştir (Şekil 4). Denemelerde kullanılan öğütülmüş materyallerin özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 4. Öğütülmüş dev kamyş (a) ve sazlık kamyş bitkisi (b) by hammer mill  
Figure 4. Giant reed (a) and common (b) reed plant ground by hammer mill

Briketleme öncesi kalıp, ısıtma sistemi ile yaklaşık  $200^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtılmıştır. Daha sonra hammadde, materyal deposuna elle doldurulmuş ve briketleme işlemi süresince doldurma işlemi tekrarlanmıştır. Materyal konik helezon mil tarafından konik kalıp içerisine sürekli olarak iletilmiştir. Materyaller kalıp içerisinde bir süre sonra sıkışmaya başlamış ve 57 mm çapında, 25 mm çapında merkez delikli, ısıtma sistemi tarafından yükseltile sıcaklığın etkisiyle dış yüzeyi karbonize olmuş silindirik briketler sürekli olarak elde edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Üretilen briketlerden bir görünüş  
Figure 5. A view of the briquettes produced

**Çizelge 1.** Denemelerde kullanılan kurutulmuş ve öğütülmüş materyallerin özellikleri**Table 1.** Properties of dried and ground raw materials used in the experiments

Materyal	Nem içeriği (%y.b.)	Yoğunluk (kg m <sup>-3</sup> )	Kül içeriği (%)	Elek analizi				
				0-1 mm (%)	1-2 mm (%)	2-2.8 mm (%)	2.8-4 mm (%)	4< mm (%)
Dev kamış bitkisi	6.89	249.00	2.33	69.23	27.57	3.00	0.20	-
Sazlık kamış bitkisi	6.55	174.00	5.50	56.92	41.93	1.09	0.06	-

### 2.2.2. Makine kapasitesi ve enerji tüketimi

Briketleme makinesinin briket üretim kapasitesinin belirlenmesi için, briketler çıkmaya başladıktan sonra, belirli bir süre içerisinde üretilen briketler tartılmış ve üretilen briket kütlesi zaman değerine bölünerek makine kapasitesi kg h<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

Briketleme makinesinin enerji tüketiminin belirlenmesinde üç fazlı/dört telli ve kalibrasyon katsayısı 48 devir kWh<sup>-1</sup> olan aktif sayaçtan yararlanılmıştır. Briketler çıkmaya başladıktan sonra elektrik sayacının bir devrini tamamlaması için geçen süre ölçülmüş ve sayaç üzerindeki kalibrasyon katsayısı kullanılarak enerji tüketimi kWh olarak hesaplanmıştır. Makinenin özgül enerji tüketimi enerji tüketiminin makine kapasitesine bölünmesi ile kWh kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

Makine kapasitesi ve enerji tüketimi ile ilgili denemeler üç tekerrürlü olarak yapılmış ve elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır.

### 2.2.3. Briketlerin Isıl Değerinin Belirlenmesi

Dev kamış ve sazlık kamış bitkileri briketlerinin ısı değer analizleri TÜBİTAK-MAM (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu-Marmara Araştırma Merkezi) tarafından ASTM D 5865-04 (2004) standardına göre kalorimetre cihazı kullanılarak yapılmıştır. Analiz öncesi briketler bir parçalayıcıda öğütülmüş ve 105°C'de 24 h kurutma fırınında (ETÜV) bekletilerek içerisindeki nem uzaklaştırılmıştır. Isıl değer analizinde 1 g ağırlığındaki örnekler standart koşullarda bir kalorimetre bombasında yakılmış ve briketlerin alt ısı değerleri belirlenmiştir.

### 2.2.4. Briket kalitesi İle ilgili özellikler ve testler

Briketlerin fiziksel testleri, briket kalitesinin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır ve büyük önem taşımaktadır. Briketlerin fiziksel testleri ile ilgili olarak yoğunluk, kırılma direnci, dayanıklılık direnci, su alma direnci, nem içeriği ve eşdeğer nem içeriği (hava nemi direnci) belirlenmiştir. Bütün testler için briketler 7 gün süre ile kapalı ortamda çevre şartlarında bekletilmiştir.

Briketlerin kırılma ve dayanıklılık dirençleri belirlenirken, testler sırasında kırılan parçalar 20 mm delik çapına sahip 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.

Briket yoğunluğunun belirlenmesinde su yer değiştirme yöntemi kullanılmıştır. Briketlerin su emmesini engellemek amacıyla briketler faz değişim sıcaklığı 45-50°C ve yoğunluğu 800 kg m<sup>-3</sup> olan parafinle kaplanmıştır. Her bir briket parafinle kaplanmadan önce ve parafinle kaplandıktan sonra tartılmış, ağırlıkları kaydedilmiştir. Parafinli briketler daha sonra su ile

doldurulmuş kabın içine daldırılmış ve yer değiştiren suyun miktarı belirlenerek parafinli briketlerin hacmi kaydedilmiştir. Her bir briketin hacmi ise parafinle kaplanmış briketin hacminden kaplanmış parafin hacminin çıkarılması ile bulunmuştur. Briket yoğunluğu ise briketin orijinal ağırlığının hacmine bölünmesi yoluyla kg m<sup>-3</sup> olarak hesaplanmıştır.

Briket dayanıklılık direncinin belirlenmesi testinde, 5 briket test öncesi tartılmış ve ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra briketler test düzeneğine yerleştirilmiş ve 40 min<sup>-1</sup> de 3 dakika süreyle döndürülmüştür. Döndürme işleminin sonunda briketler dışarı alınmış ve tekrar tartılmışlardır. Test süresince oluşan ağırlık kaybına bağlı olarak dayanıklılık direnci yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

Briket kırılma direncinin belirlenmesinde, briketler test öncesi tartılmış ve ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra briketler 1 m yükseklikten sert bir zemin üzerine serbest olarak 10 kez düşürülmüş ve düşürme işleminin sonunda tekrar tartılarak briket ağırlıkları kaydedilmiştir. Test sonunda meydana gelen ağırlık kaybına bağlı olarak kırılma direnci yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

Briketlerin su alma direnci, suyun içine daldırılan briket tarafından emilen suyun yüzde olarak ölçüsüdür. Bu testte, her bir briketin ağırlığı suya daldırılmadan önce tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra briketler soğuk şebeke suyuna (yaklaşık 11°C) daldırılarak 1 dakika süre ile su içinde bekletilmiş ve tekrar tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir. Brikette meydana gelen ağırlık artışına bağlı olarak su alma direnci yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

Briketlerin hava nemi direnci (eşdeğer nem içeriği) belirlenirken, briketler elde edildiklerinden itibaren 21 gün süreyle kapalı ortamda çevre şartlarında bekletilmiştir. Bekletme öncesi ve sonrası briket ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir. Ağırlıktaki artışa bağlı olarak eşdeğer nem içeriği yüzde (%) olarak belirlenmiştir.

## 3. Bulgular

### 3.1. Makine kapasitesi ve enerji tüketimi

Dev kamış ve sazlık kamış bitkilerinden elde edilen briketler için briketleme makinesinin kapasitesi ve enerji tüketim değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çalışmada en yüksek makine kapasitesi dev kamış bitkisinde elde edilmiştir. Dev kamış bitkisinin 0-1 mm aralığındaki materyal parçacık boyut dağılımının sazlık kamış bitkisinden daha fazla ve materyal yoğunluğunun daha yüksek olması, briketleme işlemi süresince materyalin depodan olan doğal akışının daha düzenli olmasına ve materyalin helezon mil tarafından daha rahat iletilmesine neden olmuş ve bu da makine kapasitesini oldukça olumlu yönde etkilemiştir. Elde edilen bu sonuçlar Kürklü ve Bilgin (2007) (pamuk sapı: 73 kg h<sup>-1</sup>, susam sapı: 60 kg h<sup>-1</sup>) ve Bhattacharya ve ark. (2002) (pirinç kabuğu: 90 kg h<sup>-1</sup>) tarafından yapılan çalışmalarda helezon tip

briketleme makinesinde farklı materyaller için belirlenen makine kapasitelerinden daha yüksek, Grover (1995) (odun talaşı: 400-600 kg h<sup>-1</sup>) tarafından yapılan çalışmada elde edilen değerlerden daha düşük bulunmuştur.

**Çizelge 2.** Briketleme makinesi kapasitesi ve enerji tüketim değerleri

**Table 2.** Energy consumption values and capacity of briquetting machine

Materyal	Makine kapasitesi (kg h <sup>-1</sup> )	Enerji tüketimi (kWh)	Özgül enerji tüketimi (kWh kg <sup>-1</sup> )
Dev kamış bitkisi	170	12.80	0.0753
Sazlık kamış bitkisi	110	9.25	0.0841

Makine kapasitesini etkileyen önemli faktörler, materyal parçacık boyutu, nem içeriği, yoğunluk ve makine helezon devridir. Makine kapasitesi özellikle kurulacak briketleme tesislerinin kapasitelerinin belirlenmesinde etkili faktörlerden birisi olduğundan, briket çapının, helezon devrinin ve adımının artırılması, materyallerin briketleme işlemi için optimum nem içeriklerine getirilmesi, materyal parçacık boyut dağılımının küçültülmesi ve daha homojen hale getirilmesi ile önemli düzeyde artırılabilir.

Çizelge 2'de briketleme makinesinin enerji tüketim değerleri incelendiğinde, en düşük enerji tüketimi sazlık kamış bitkisinin briketlenmesinde elde edilmiştir. Makine kapasitesinin artması makine enerji tüketimini artırmış fakat özgül enerji tüketimini düşürmüştür. Dolayısı ile en düşük özgül enerji tüketimi dev kamış bitkisinin briketlenmesinde elde edilmiştir. Dev kamış ve sazlık kamış bitkisi briketleri için belirlenen özgül enerji tüketim değerleri literatürlerde verilen ortalama değerlerin (WORLD BANK 1987 (0.11 kWh kg<sup>-1</sup>), Eriksson ve Prior 1990 (0.12 kWh kg<sup>-1</sup>)) altında kalmıştır.

Briketleme makinesinin özgül enerji tüketim değerleri briketleme makinesinin kapasitesinin artırılması, literatürde verilen optimum nem içeriklerinde [%8-9 (%y.b)] (Grover ve Misra 1996) briketleme yapılması ve briketleme işlemi öncesi materyallere ön ısıtma işleminin uygulanması ile daha da düşürülebilecek ve böylelikle birim briket üretimi için enerji giderleri daha da azaltılabilecektir.

### 3.2. Briket fiziksel özellikleri

Dev kamış ve sazlık kamış bitkilerinden elde edilen briketlerin kalitesi ile ilgili olarak fiziksel özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3'te görüldüğü gibi briket kalitesinin önemli göstergelerinden biri olan briket yoğunluğu, materyal yoğunluklarının düşük olmasına ve yapıştırıcı madde kullanılmamasına rağmen oldukça yüksek değerlerde bulunmuştur. En yüksek briket yoğunluğu materyal parçacık

boyutu daha düşük ve materyal yoğunluğu daha yüksek olan dev kamış bitkisi briketinde (1150 kg m<sup>-3</sup>) elde edilmiştir. Hammaddede yoğunluklarına göre dev kamış bitkisi 4.6, sazlık kamış bitkisi ise 5.8 kat daha fazla yoğunluğa sıkıştırılabilmektedir. Briket yoğunluklarının oldukça yüksek olması yapılan briketleme işleminin oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Elde edilen briket yoğunlukları literatürde (Grover ve Mishra 1996) verilen kabul edilebilir değerler (1000-1400 kg m<sup>-3</sup>) arasında yer almıştır. Sonuç olarak materyal yoğunluğunun yüksek ve materyal parçacık boyut dağılımının küçük olması briket yoğunluğunu artırmıştır. Elde edilen bu sonuçlar Li ve Liu (2000), Acaroğlu ve ark. (2002), Granada ve ark. (2002), Suhagar ve ark. (2006), Kürklü ve Bilgin (2007), Kaliyan ve Morey (2010), Yumak ve ark. (2010), Akman ve Bilgin (2012) tarafından yapılan çalışmalarda bulunan sonuçlarla benzerlik göstermiştir.

Briketlerin dayanıklılık direnci için elde edilen sonuçlar dev kamış ve sazlık kamış bitkileri briketlerinin sağlam yapıda olduğunun yanı sıra, dayanıklılık direnci açısından en fazla dayanımı dev kamış bitkisi briketinin sağladığını göstermiştir. Dev kamış ve sazlık kamış bitkileri briketlerinin dayanıklılık direnci test sonrası görünüşleri Şekil 6'da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi briketlerin dayanıklılık direnci testi sonunda dev kamış bitkisi briketlerinde fazla parçalanma meydana gelmezken, sazlık kamış bitkisinin bazı briketlerinde oldukça fazla parçalanmalar meydana gelmiştir. Sazlık kamış bitkisinin materyal parçacık boyut dağılımının dev kamış bitkisine göre daha büyük parçacıklardan meydana gelmesi, ayrıca briketleme işlemi sonunda sazlık kamış briketlerinin daha düşük nem içeriğine sahip olmalarına (sazlık kamış briketi %2.91, dev kamış bitkisi briketi %3.67) bağlı olarak briket yüzeylerinde meydana gelen küçük çatlamların test sonunda sazlık kamış bitkisi briketlerinde kırılmalara neden olmuştur. Ancak, test sonunda kırılan parçaların 20 mm'lik elek üzerinde kalan kısımlar kayıp olarak değerlendirilmediğinden her iki briket için elde edilen dayanıklılık dirençleri oldukça yüksektir. Dev kamış ve sazlık kamış bitkilerinden üretilen briketler için elde edilen kırılma direnci değerleri briketlerin kırılmaya karşı dirençlerinin dayanıklılık direncine göre özellikle sazlık kamış bitkisi briketleri için oldukça yüksek olduğunu göstermiştir. Briketlerin kırılmaya karşı dirençleri açısından, dayanıklılık direncinde olduğu gibi en yüksek dayanımı dev kamış bitkisi briketleri göstermiştir. Bu teste de kırılan parçaların 20 mm'lik elek üzerinde kalan kısımları kayıp olarak değerlendirilmemiştir.

Dayanıklılık ve kırılma direnci testlerinde elde edilen sonuçlar 0.5-1.0 (%50-100) arasında değerlendirmeye tutulmaktadır (Eriksson ve Prior 1990). Sonuçlar bir (1.0) değerine yaklaştıkça briketlerin kalitesi artmaktadır. Bu bilgiler ışığında Çizelge 3 incelendiğinde dev kamış ve sazlık kamış bitkisi briketlerinin dayanıklılık ve kırılma direnci değerleri bir (1) değerine çok yakın oldukları için briketlerin oldukça sağlam yapıda oldukları söylenebilir.

**Çizelge 3.** Briketlerin fiziksel özellikleri

**Table 3.** Physical properties of briquettes

Briket	Yoğunluk (kg m <sup>-3</sup> )	Dayanıklılık direnci (%)	Kırılma direnci (%)	Su alma direnci (%)	Hava nemi direnci (%)
Dev kamış bitkisi briketi	1150	98.39	99.09	91.87	97.37
Sazlık kamış bitkisi briketi	1017	81.70	94.54	59.89	96.36



(a)



(b)

**Şekil 6.** Dev kamış (a) ve sazlık kamış (b) bitkisi briketlerinin dayanıklılık testi sonrası bir görünüşü

**Figure 6.** A view of giant reed (a) and common reed (b) plant briquettes after durability testing

Sonuç olarak briketlerin dayanıklılık ve kırılma dirençleri üzerine materyal nem içeriklerinin, materyal parçacık boyut dağılımının ve materyal yoğunluğunun etkisinin olduğu görülmektedir. Daha düşük nem içeriklerinde yapılan briketleme işlemi briketlerin dayanıklılık ve kırılma dirençlerini azaltırken, materyal yoğunluğunun yüksek ve materyal parçacık boyut dağılımının küçük olması briketlerin bu dirençlerini artırmıştır. Briketlerin düşme-dayanıklılık ve kırılma dirençleri açısından elde edilen sonuçlar [Acaroğlu ve ark. \(2002\)](#), [Kürklü ve Bilgin \(2007\)](#), [Kaliyan ve Morey \(2010\)](#), [Fengmin ve Mingquan \(2011\)](#), [Akman ve Bilgin \(2012\)](#) tarafından yapılan çalışmalarda ki sonuçlarla benzerlik göstermiştir.

Çizelge 3'e bakıldığında dev kamış bitkisi briketlerinin su alma dirençlerinin sazlık kamış bitkisi briketlerine göre oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Briketlerinin su alma direnci testi sonrası görünüşleri verilmiştir (Şekil 7). Görüldüğü gibi sazlık kamış bitkisi briketlerinin su emerek tamamen dağılarak briket özelliğini kaybettiği, dev kamış bitkisi briketlerinin ise su emme sonucu şişmelerin sadece briket uç kısımlarında meydana geldiği ve briket özelliklerini kaybetmediği belirlenmiştir. Bu durum sazlık kamış bitkisi briketlerinin dış yüzeylerinde oluşan küçük çatlakların test sırasında briketlerin hızlı bir şekilde ve daha fazla su emmesine neden olmasından kaynaklanmıştır. Briketlerin su alma direnci testlerinde elde edilen sonuçlar [Acaroğlu ve ark. \(2002\)](#), [Kürklü ve Bilgin \(2007\)](#) ve [Akman ve Bilgin \(2012\)](#) tarafından yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile benzerlikler göstermiştir.

Çizelge 3'te görüldüğü gibi briketler 21. günün sonunda bile ortam neminden fazla etkilenmeyerek ağırlıkça fazla değişmemişlerdir. Briketlerin hava nemi dirençleri birbirine

oldukça yakın bulunmuş ve en yüksek dayanımı diğer testlerde olduğu gibi dev kamış bitkisi briketleri göstermiştir. Briketlerin dış yüzeyinin kalıp ısıtma sisteminden dolayı karbonize olması briketlerin ortam neminden az oranda etkilenmesini sağlamıştır. Ayrıca yapılan gözlemlerde 1 yıl gibi uzun bir sürenin sonunda bile üretilen briketlerde kapalı ortam şartlarında herhangi bir mantarlaşma ve küflenme görülmemiş ve depolandıkları yerde ilk elde edildiklerindeki gibi sağlam kalmışlardır. Elde edilen sonuçlar [Kürklü ve Bilgin \(2007\)](#), [Akman ve Bilgin \(2012\)](#) tarafından yapılan çalışmalarla benzerlik göstermiştir.



(a)



(b)

**Şekil 7.** Su alma direnci testi sonrası dev kamış (a) ve sazlık kamış (b) bitkisi briketlerinin bir görünüşü

**Figure 7.** A view of giant reed (a) and common reed plant (b) briquettes after water resistance testing

Genel olarak dev kamış ve sazlık kamış bitkilerinden üretilen briketlerin briket kalitesi ile ilgili fiziksel özelliklerine bakıldığında, bu tür materyallerin herhangi bir yapıştırıcı materyal kullanılmadan yüksek kalitede briketlenebileceği belirlenmiştir. Ayrıca briketlerin iyi bir şekilde ambalajlanmasıyla fiziksel testler sırasında meydana gelen olumsuzlukların oluşmayacağı ve kapalı ortamlarda depolanarak yağmurdan korunmaları durumunda da yakılmaya kadar briket özelliğini koruyabilecekleri söylenebilir.

### 3.3. Briket ısı değeri

Dev kamış ve sazlık kamış bitkilerinden elde edilen briketlerin ASTM D 5865-04 standardına göre kalorimetre cihazı kullanılarak belirlenen alt ısı değeri Çizelge 4'te verilmiştir. Briketlerin alt ısı değeri yüksek ve birbirine yakın bulunmuş ve en yüksek değer dev kamış bitkisi briketinde ( $17.99 \text{ MJ kg}^{-1}$ ) elde edilmiştir. Bir materyalin kül içeriğinin düşük olması onun ısı değerini artırmaktadır. Dolayısı ile dev

kamış bitkisinin kül içeriğinin daha düşük olması elde edilen kamış bitkisi briketinin ısı değerinin daha yüksek olmasını sağlamıştır.

#### Çizelge 4. Briketlerinin alt ısı değerleri

Table 4. Lower heating values of briquettes

Briket	Alt ısı değer (MJ kg <sup>-1</sup> )
Dev kamış bitkisi briketi	17.99
Sazlık kamış bitkisi briketi	17.84

Sonuç olarak, briketlerin yüksek ısı değerlerinden ve düşük kül içeriklerinden dolayı evsel ısınmalarda ve yemek pişirmelerde, sera ısıtmasında ve katı yakıtlı enerji üretim santrallerinde enerji kaynağı olarak kullanılması mümkündür.

#### 4. Sonuçlar

Dev kamış ve sazlık kamış bitkilerinin konik helezon tip briketleme makinesinde briketlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir;

- Materyallerin herhangi bir yapıştırıcı madde kullanılmadan oldukça yüksek kalitede briketlenebileceği belirlenmiştir.
- Briketleme ile temiz, kaliteli ve yenilenebilir bir yakıt elde edilmiştir.
- Materyallerin parçacık boyut dağılımlarının helezon tip briketleme makineleri için uygun olduğu belirlenmiştir.
- Briket yoğunluğu oldukça yüksek bulunmuş ve dev kamış bitkisi briketi için 1150 kg m<sup>-3</sup>, sazlık kamış bitkisi briketi için ise 1017 kg m<sup>-3</sup> olmuştur.
- Fiziksel testler sonunda briketlerin oldukça sağlam yapıda olduğu belirlenmiş ve tüm testlerde en yüksek sağlamlığı dev kamış bitkisi briketleri göstermiştir.
- Briketlerin dış yüzeyinin karbonize olması hava nemine karşı gösterdikleri direnci artırmıştır.
- Briketlerin ısı değerlerinin oldukça yüksek oldukları belirlenmiştir.
- Briketleme makinesinin kapasitesi dev kamış bitkisi briketi için 170 kg h<sup>-1</sup>, sazlık kamış bitkisi briketi için ise 110 kg h<sup>-1</sup> dir.
- Makinenin özgül enerji tüketimi en düşük dev kamış bitkisi briketinde elde edilmiştir.
- Briketlerin iyi bir şekilde paketlenmesi ile hem depolama hem de nakliye meydana gelebilecek kayıplar ve olumsuz özellikler önenebilir.
- Briketlerin evsel ısıtma için sobalarda yakılması mümkündür.
- Kamış bitkileri ivedilikle kültüre alınıp enerji bitkisi olarak yetiştirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmalıdır.
- İvedilikle briketleme tesisleri kurularak bu tür materyaller enerji kaynağı olarak ülke ekonomisine kazandırılmalıdır.

#### Teşekkür

Bu çalışma, 2005.01.0104.001 proje numarasıyla, Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiş olan Araştırma Projesinin bir bölümüdür.

#### Acknowledgment

This study was supported by Akdeniz University, Administration Unit of Scientific Research Projects (Project No. 2005.01.0104.001).

#### Kaynaklar

- Acaroğlu M, Ögüt H, Örnek MN (2002) Biyokütle briketlenmesi ve biyokütle briketlerinin fiziksel özellikleri üzerine bir araştırma. IV. Ulusal Temiz Enerji Kongresi Bildiri Kitabı, İstanbul, s. 819-831,
- Akman HE, Bilgin S (2012) Pamuk saplarının hidrolik tip preste briketlenmesi üzerine bir çalışma. Tarım Makinaları Bilim Dergisi 8 (1): 99-106.
- Angelini LG, Ceccarini L, Di Nasso NNO, Bonari E (2009) Comparison of *Arundo donax* L. and *Miscanthus x giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: Analysis of productive characteristics and energy balance. Biomass and Bioenergy 33: 635–643.
- 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).
- ASTM D 5865–04 (2004) Standard test method for gross calorific value of coal and coke. American Society for Testing and Materials, New York.
- Bhattacharya SC, Leon M A, Rahman Md.M (2002) A study on improved biomass briquetting. Energy for Sustainable Development 6(2): 106-110.
- CRA (1987) The la densification de la biomass. Commission des Communuates Europeennes. Centre de Recherches Agronomiques.
- Eriksson S, Prior M (1990) The Briquetting of Agricultural Wastes for Fuel. FAO Environment and Energy Paper 11, FAO of the UN, Rome.
- Fengmin L, Mingquan Z (2011) Technological parameters of biomass briquetting of macrophytes in Nansi Lake. Energy Procedia 5: 2449-2454.
- Granada E, González LML, Míguez, JL, Moran J (2002) Fuel lignocellulosic briquettes, die design and products study. Renewable Energy 27: 561-573.
- Hidalgo M, Fernández J (2000) Biomass production of ten populations of giant reed (*Arundo donax* L.) under the environmental conditions of Madrid (Spain). Grass A, Chiaramonti D (eds) 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain. James and James (Science Publishers) Ltd, London, pp: 1881–1884.
- 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.
- Kaliyan N, Morey RV (2010) Densification characteristics of corn cobs. Fuel Processing Technology 91: 559-565.
- Kering MK, Butler TJ, Biermacher JT, Guretzky JA (2012) Biomass yield and nutrient removal rates of perennial grasses under nitrogen fertilization. Bioenergy Research 5: 61–70.
- Kürklü A, Bilgin S (2007) Pamuk ve susam saplarının briketlenmesi üzerine bir araştırma. Tarım Makinaları Bilim Dergisi 3 (3): 151-159.
- Lewandowski I, Scurlock JMO, Lindvall E, Christou M (2003) The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. Biomass and Bioenergy 25: 335–361.
- Lewis M, Jackson M (2002) Nalgrass: A non wood fibre suitable for existing US pulp mills. In: Janick, J. and Whipkey, A. (eds) Trends

- in New Crops and New Uses. ASHS Press, Alexandria, Virginia, pp. 371–376.
- Li Y, Liu H (2000) High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. *Biomass and Bioenergy* 19: 177-186.
- Mack RN (2008) Evaluating the credits and debits of a proposed biofuel species: Giant Reed (*Arundo donax*). *Weed Science* 56: 883–888.
- Öztürk HH (2012) Enerji Bitkileri ve Biyoyakıt Üretimi, Hasad Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul,
- Scragg AH (2009) *Biofuels: Production, Application and Development*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kindom (UK).
- Shatalov AA, Pereira H (2006) Papermaking fibers from giant reed (*Arundo donax* L.) by advanced ecologically friendly pulping and bleaching technologies. *Bioresources* 1: 45–61.
- Suhagar M, Lope GT, Shahab S (2006) Specific energy requirement for compacting corn stover. *Bioresource Technology*, 97: 1420-1426.
- Williams CMJ, Biswas TK, Glatz P, Kumar M (2007) Use of recycled water from intensive primary industries to grow crops within integrated biosystems. *Agricultural Science* 21: 34–36.
- Williams CMJ, Biswas TK, Márton L, Czako M (2013) *Arundo donax*. Singh BP (ed), *Biofuels Crops: Production, Physiology and Genetics*. USA/Georgia, pp: 249-270.
- WORLD BANK (1987) *Sawmill Residues Utilization in Ghana*. ESMAP Report 074/87.
- Yumak H, Uçar T, Seyidbekiroglu N (2010) Briquetting soda weed (*Salsola tragus*) to be used as a rural fuel source. *Biomass and Bioenergy* 34: 630-636.